

TOEGEPASTE GEOLOGIE EN HYDROGEOLOGIE

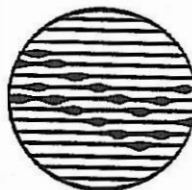
**Procedure voor aanvaarding van grondwatermodellen en expertise
voor het beoordelen van grondwaterverontreiniging in het kader van
het besluit van de Vlaamse regering houdende voorwaarden en proce-
dures voor de erkenning van bodemsaneringsdeskundigen**

95/13



UNIVERSITEIT GENT

Procedure voor aanvaarding van
grondwatermodellen en expertise voor het
beoordelen van grondwaterverontreiniging
in het kader van het besluit van de
Vlaamse Regering houdende voorwaarden
en procedures voor de erkenning van
bodemsaneringsdeskundigen



Laboratorium
voor
Toegepaste Geologie
en
Hydrogeologie

Geologisch Instituut
Krijgslaan 281, S8
B-9000 Gent

tel. 09/264 46 47
fax 09/264 49 88

Opdrachtgever

OVAM

Leiding : Prof. Dr. W. DE BREUCK

Studie en verslag : Lic. M. VAN CAMP

Projectnummer : TGO 95/13

Datum : juli 1996

INHOUD

LIJST VAN FIGUREN

LIJST VAN BIJLAGEN

LIJST VAN TABELLEN

1. Inleiding	1
2. Ontwerp van procedure	2
3. De algemene vragenlijst	6
4. Omschrijving van een concrete opdracht	7
4.1 Doel van de concrete opdracht	7
4.2 Te simuleren opdracht	7
4.3 Voorbeelden van resultaten	7
4.3.1 Inleiding	7
4.3.2 Resultaten van het programma MODFLOW	8
4.3.2.1 Ingevoerde gegevens	8
4.3.2.2 Resultaten	9
4.3.3 Resultaten van het programma MODPATH	10
4.3.3.1 Ingevoerde gegevens	10
4.3.3.2 Resultaten	10
4.3.4 Resultaten van het programma MOC	11
4.3.4.1 Ingevoerde gegevens	11
4.3.4.2 Resultaten	11
4.3.5 Resultaten van het programma MT3D	13
4.3.5.1 Ingevoerde gegevens	13
4.3.5.2 Resultaten	13
5. Evaluatie van de ontvangen aanvragen	15
Referenties	16

LIJST VAN FIGUREN

Fig 1 Schematische voorstelling van de concrete opdracht:vooraanzicht

Fig 2 Schematische voorstelling van de concrete opdracht:bovenaanzicht

Fig 3 Gebruikt netwerk in het MODFLOW-MT3D model

Fig 4 MODFLOW:Toestand zonder pumping:berekende stijghoogten nabij de basis van het reservoir

Fig 5 MODFLOW:Toestand zonder pumping:berekende stijghoogten nabij de watertafel

Fig 6 MODFLOW:Toestand met pumping:berekende stijghoogten nabij de basis van het reservoir

Fig 7 MODFLOW:Toestand met pumping:berekende stijghoogten nabij de watertafel

Fig 8 MODFLOW:Toestand met pumping:berekende verlaging nabij de basis van het reservoir

Fig 9 MODFLOW:Toestand met pumping:berekende verlaging nabij de watertafel

Fig 10 MODPATH:Toestand zonder pumping:berekende stroomlijnen

Fig 11 MODPATH:Toestand met pumping:berekende stroomlijnen

Fig 12 MOC:Horizontaal model:toestand zonder pumping:berekende concentraties na 10 jaar

Fig 13 MOC:Horizontaal model:toestand zonder pumping:berekende concentraties na 20 jaar

Fig 14 MOC:Horizontaal model:toestand zonder pumping:berekende concentraties na 30 jaar

Fig 15 MOC:Horizontaal model:toestand zonder pumping:berekende concentraties na 40 jaar

Fig 16 MOC:Horizontaal model:toestand zonder pumping:berekende concentraties na 50 jaar

Fig 17 MOC:Horizontaal model:toestand zonder pumping:berekende concentraties na 100 jaar

Fig 18 MOC:Horizontaal model:toestand zonder pumping:concentratieverloop in de pompput

Fig 19 MOC:Horizontaal model:toestand met pumping:berekende concentraties na 10 jaar

Fig 20 MOC:Horizontaal model:toestand met pumping:berekende concentraties na 20 jaar

Fig 21 MOC:Horizontaal model:toestand met pumping:berekende concentraties na 30 jaar

Fig 22 MOC:Horizontaal model:toestand met pumping:berekende concentraties na 40 jaar

Fig 23 MOC:Horizontaal model:toestand met pumping:berekende concentraties na 50 jaar

Fig 24 MOC:Horizontaal model:toestand met pumping:berekende concentraties na 100 jaar

Fig 25 MOC:Horizontaal model:toestand met pumping:concentratieverloop in de pompput

Fig 26 MOC:Vertikaal model:toestand zonder pumping:berekende concentraties na 10,20 en 30 jaar

Fig 27 MOC:Vertikaal model:toestand zonder pumping:berekende concentraties na 40,50 en 100 jaar

Fig 28 MOC:Vertikaal model:toestand zonder pumping:berekend concentratieverloop in de pompput

Fig 29 MOC:Vertikaal model:toestand met pumping:berekende concentraties na 10,20 en 30 jaar

Fig 30 MOC:Vertikaal model:toestand met pumping:berekende concentraties na 40,50 en 100 jaar

Fig 31 MOC:Vertikaal model:toestand met pumping:berekend concentratieverloop in de pompput

Fig 32 MT3D:Toestand zonder pumping:berekende concentraties in kolom 38 na 10 , 20 en 30 jaar

Fig 33 MT3D:Toestand zonder pumping:berekende concentraties in kolom 38 na 40 , 50 en 100 jaar

Fig 34 MT3D:Toestand met pumping:berekende concentraties in kolom 38 na 10 , 20 en 30 jaar

Fig 35 MT3D:Toestand met pumping:berekende concentraties in kolom 38 na 40 , 50 en 100 jaar

Fig 36 MT3D:Toestand zonder pumping:berekende concentraties in laag 1 na 50 jaar

Fig 37 MT3D:Toestand zonder pumping:berekende concentraties in laag 2 na 50 jaar

Fig 38 MT3D:Toestand zonder pumping:berekende concentraties in laag 3 na 50 jaar

Fig 39 MT3D:Toestand zonder pumping:berekende concentraties in laag 4 na 50 jaar

Fig 40 MT3D:Toestand zonder pumping:berekende concentraties in laag 5 na 50 jaar

Fig 41 MT3D:Toestand zonder pumping:berekende concentraties in laag 6 na 50 jaar

Fig 42 MT3D:Toestand met pumping:berekende concentraties in laag 1 na 50 jaar

Fig 43 MT3D:Toestand met pumping:berekende concentraties in laag 2 na 50 jaar

Fig 44 MT3D:Toestand met pumping:berekende concentraties in laag 3 na 50 jaar

Fig 45 MT3D:Toestand met pumping:berekende concentraties in laag 4 na 50 jaar

Fig 46 MT3D:Toestand met pumping:berekende concentraties in laag 5 na 50 jaar

Fig 47 MT3D:Toestand met pumping:berekende concentraties in laag 6 na 50 jaar

Fig 48 MT3D:Toestand zonder pumping:berekende concentraties in de pompput

Fig 49 MT3D:Toestand met pumping:berekende concentraties in de pompput

LIJST VAN BIJLAGEN

BIJLAGE 1 Formulier grondwatermodellen

BIJLAGE 2 Concrete opdracht

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1 Reistijden voor de verschillende simulaties

1. INLEIDING

Op 30 augustus 1995 werd door OVAM , de Openbare Afvalstoffenmaatschappij voor het Vlaams Gewest , aan het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie van de Universiteit Gent de opdracht gegeven een protocol op te stellen voor het aanvaarden of weigeren van grondwatermodellen in het kader van het besluit van de Vlaamse regering houdende voorwaarden en procedures voor de erkenning van bodemsaneringsdeskundigen.

De opdracht omvat de uitwerking , in overleg met de VUB - Dienst Hydrologie en Het Bestuur , van:

- een ontwerp van procedure voor de aanvaarding van grondwatermodellen en aanvaarding van het niveau van expertise in het beoordelen van grondwaterverontreiniging in het kader van het besluit van de Vlaamse regering houdende voorwaarden en procedures voor de erkenning van bodemsaneringsdeskundigen
- één concrete opdracht door de aanvrager van de erkenning als bodemsaneringsdeskundige op te lossen
- een standaardvragenlijst die de aanvrager van de erkenning dient in te vullen
- de procedure voor evaluatie van de aanvraag tot aanvaarding van het betreffende grondwatermodel en van het niveau van expertise in het beoordelen van grondwaterverontreiniging met betrekking tot:
 - de resultaten van de uitgevoerde opdracht
 - de antwoorden op de standaardvragenlijst
 - een algemene voorstellingsmethode van modelresultaten met voorbeelden
 - de resultaten van de op te lossen opdracht
 - de te volgen werkwijze voor het behandelen van latere erkenningsaanvragen.

De concrete opdracht voorziet in het gebruik van verschillende modellen.

2. ONTWERP VAN DE PROCEDURE

Veel problemen op gebied van grondwaterbeheer zijn zodanig uitgebreid of complex dat er komputerprogramma's gebruikt worden om tot een oplossing te komen. Veel van deze programma's zijn mathematische modellen die toe laten een grondwaterreservoir met behulp van een rekenmachine te simuleren. Deze simulatietechnieken laten toe de actuele situatie in een grondwaterreservoir te beschrijven en ingrepen in de waterhuishouding te evalueren.

Een dergelijke model bestaat uit minimaal de volgende twee delen:

1. Een hoeveelheid gegevens die een beschrijving vormen van de geometrische en hydraulische kenmerken en randvoorwaarden van het reservoir.
2. Een rekenprogramma dat vertrekkende van de invoergegevens de grondwaterstromingen en/of -kwaliteiten in het reservoir berekent. Hiertoe worden in het programma de processen, die in de beschouwde problematiek van belang zijn, gemodelleerd.

Aanvullende programma's kunnen vertrekkende van de berekende stromingen en/of kwaliteiten antwoorden op konkrete vragen helpen formuleren.

De kwaliteit van een model kan beschouwd worden als de mate waarin de combinatie van het rekenprogramma met de invoergegevens de realiteit kan benaderen. De kwaliteit van een simulatie hangt o.a. van de volgende twee criteria af:

1. Hoe goed beschrijven de invoergegevens de reële toestand van het reservoir?
2. Hoe goed kan het gebruikte rekenprogramma de processen in het reservoir nabootsen en worden alle processen die voor de beschouwde problematiek van belang zijn door het rekenprogramma gemodelleerd?

Bij het beantwoorden van de eerste vraag spelen de volgende twee factoren een rol:

1. De hoeveelheid en kwaliteit van de veldwaarnemingen die in de betreffende studie voorhanden zijn. Belangrijk zijn b.v.:

- gegevens over de afbakening van de verschillende lagen in het reservoir
- gegevens over de hydraulische parameters van de lagen
- stijghoogtemetingen

Hoe meer gegevens voorhanden zijn, hoe meer het model in overeenstemming met de werkelijkheid kan gebracht worden. De kwaliteit van deze faktor wordt vooral door het budget van de studie bepaald.

2. Hoe worden de gegevens in het rekenprogramma ingevoerd, m.a.w. hoe gebeurt de hydrogeologische schematisering van het reservoir en hoe representatief zijn de ingevoerde waarden voor de echte eigenschappen van de lagen. Hierbij speelt ook de keuze van de randvoorwaarden een grote rol. Vaak wordt dit met een iteratief proces gedaan waarbij berekende modelresultaten vergeleken worden met een gemeten toestand, waarna sommige ingevoerde gegevens worden aangepast en de cyclus herhaald wordt. Men noemt dit de ijking of kalibratie van een model. De kwaliteit hiervan berust vooral bij de ervaring van de persoon die het modellerwerk uitvoert.

Bij het beantwoorden van de tweede vraag spelen de volgende twee factoren een rol:

1. De keuze van het juiste model om het probleem op te lossen.
2. Verifikatie van het gekozen rekenprogramma. Hierbij worden de resultaten van een bepaalde testsimulatie vergeleken met analytische oplossingen of met oplossingen van andere modellen. De afwijkingen hiertussen mogen niet te groot zijn.

Aangezien op het moment voor toekenning van een studieopdracht niet geweten is welke het budget voor de betreffende studie is en welke persoon het modellerwerk gaat uitvoeren, richt dit ontwerp tot procedure zich vooral op het beantwoorden van de tweede vraag, nl.

1. Heeft het rekenprogramma of de combinatie van programma's van de aanvrager de mogelijkheden om de problematiek op te lossen.

2. Berekent het gekozen programma wel de juiste resultaten.

Deze vragen worden beantwoord door:

1. Een algemene vragenlijst in te vullen die de technische mogelijkheden van de programma's toelicht (zie hoofdstuk 3).

2. De aanvrager een concrete opdracht te laten oplossen , die kan vergeleken worden met de resultaten van andere programma's , waarvan er in dit verslag enkele zijn opgenomen. Hierbij worden een aantal praktische regels geformuleerd zodat de ingediende resultaten gemakkelijk kunnen vergeleken worden (zie hoofdstuk 4).

Bij het opstellen van een concrete opdracht kan voor twee soorten oefeningen gekozen worden:

1. Een eenvoudige opdracht die ook op een analytische manier kan opgelost worden. Dit heeft als voordeel dat de modeloplossing met de exacte oplossing kan vergeleken worden. Nadeel is dat deze gevallen veel eenvoudiger zijn dan werkelijk voorkomende hydrogeologische situaties , waardoor het rekenprogramma niet met een reëel voorkomend probleem wordt getest.

2. Een ingewikkelder opdracht die dicht(er) aanleunt bij werkelijk voorkomende situaties. Hierbij kan het voorbeeld zo gekozen worden dat de minimum vereiste mogelijkheden van het model worden gedemonstreerd. De verkregen oplossing kan echter niet aan een exacte oplossing getoetst worden , maar enkel vergeleken worden met de oplossingen van andere modellen.

Hier is , na overleg met de dienst hydrologie van de VUB , voor de tweede mogelijkheid gekozen. Daarbij is de te simuleren situatie vrij simpel gehouden. Hierbij worden de randvoorwaarden en in te voeren parameters duidelijk aangegeven .

De bedoeling is dat de aanvrager deze opdracht simuleert en aan de hand van de resultaten van de modellen zoveel mogelijk vragen van een vragenlijst probeert op te lossen. Hij is echter niet

verplicht om alle vragen te beantwoorden. Aan de hand van de antwoorden en voorgestelde resultaten kan dan uitgemaakt worden of het voorgestelde programmapakket voldoende mogelijkheden heeft.

3. DE ALGEMENE VRAGENLIJST

Om een bepaald hydrogeologisch simulatieprobleem op te lossen mag de aanvrager gebruik maken van een combinatie van verschillende rekenprogramma's. De algemene vragenlijst heeft tot doel de algemene en technische kenmerken van de voorgestelde programma's te verzamelen. Om reële hydrogeologische problemen met succes te kunnen simuleren moet het voorgestelde programmapakket over een minimum aantal mogelijkheden beschikken. De minimum mogelijkheden van een model zal afhangen van geval tot geval. De antwoorden op deze vragen zullen toelaten te beoordelen of een bepaald programmapakket voldoende mogelijkheden heeft om een bepaald hydrogeologisch vraagstuk met succes te kunnen oplossen. Deze vragenlijst bestaat uit verschillende delen. In het eerste deel moet opgegeven worden welk soort modelleerprogramma's het pakket bevat. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen stromingsmodellen, stroomlijnprogramma's, transportmodellen en hydrochemische modellen. In de volgende delen worden een aantal technische vragen over elk van deze verschillende programma's gesteld.

De algemene vragenlijst is opgenomen in bijlage 1. Hierin is een korte omschrijving opgenomen van de gebruikte indeling van de programma's.

Aangezien de algemene vragenlijst tot doel heeft informatie te verzamelen kunnen er op deze lijst geen standaardantwoorden geformuleerd worden.

4. OMSCHRIJVING VAN EEN CONCRETE OPDRACHT

4.1 Doel van de concrete opdracht

Het doel van de concrete opdracht is het definiëren van een te simuleren probleem, waarbij de opgave zodanig geformuleerd is dat de in te voeren parameters en randvoorwaarden gekend zijn, waardoor de resultaten van verschillende berekeningsprogramma's gemakkelijk kunnen vergeleken worden. Het probleem is zo opgesteld dat het met zowel 2 als 3 dimensionale modellen kan gesimuleerd worden. Omdat sommige processen zoals dispersie, verval, ad- en desorptie, die de verspreiding van een opgeloste stof belangrijk kunnen beïnvloeden, niet in alle modellen geïmplementeerd zijn werden deze hier niet in de opgave opgenomen.

4.2 Te simuleren situatie

De concrete opdracht is in bijlage 2 opgenomen. Eerst wordt een beschrijving gegeven van de te simuleren opdracht, daarna wordt een vragenlijst over deze opdracht opgenomen. De opdracht is tevens schematisch voorgesteld op de figuren 1 en 2. De aanvrager hoeft enkel op de vragen te antwoorden die hij met zijn voorgesteld programmapakket kan oplossen. Zo kunnen vragen 1, 2 en 3 met een stromingsmodel worden opgelost. Voor vragen 4 en 5 is een stroomlijnenprogramma nodig. De vragen 6, 7, 8 en 9 kunnen slechts met een transportmodel worden opgelost. In de bijlage zijn ook richtlijnen opgenomen over de wijze waarop de resultaten moeten voorgesteld worden.

4.3 Voorbeelden van resultaten

4.3.1 Inleiding

In dit verslag werden voorbeelden van resultaten van 4 modellen opgenomen. De resultaten worden grafisch voorgesteld met programma's die door de uitvoerder van de studie geschreven zijn, en niet met programma's die bij de modellen zelf geleverd worden. Voor een technische beschrijving van de principes, rekenmethoden en het gebruik wordt verwezen naar de handleidingen van de programma's.

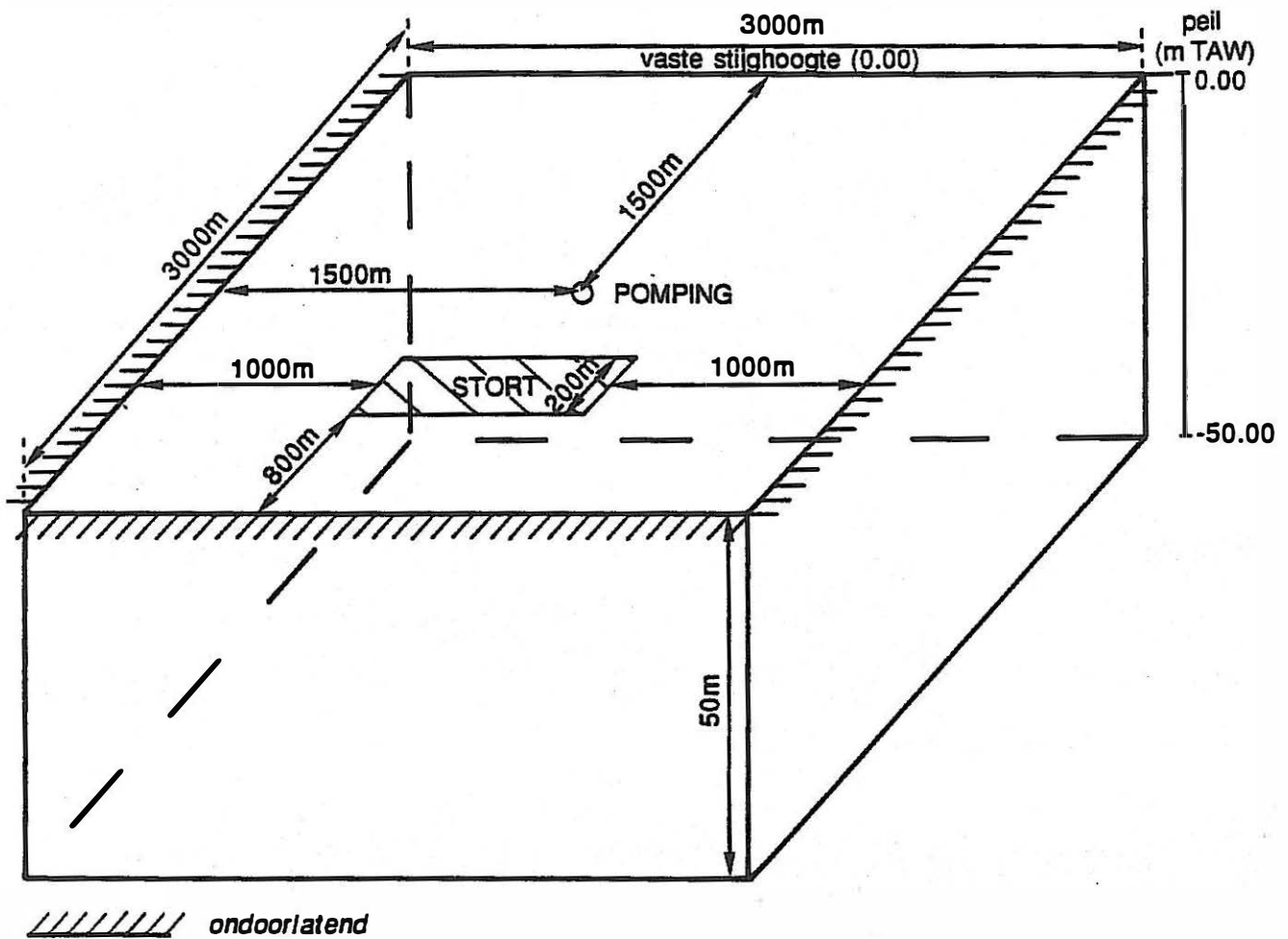
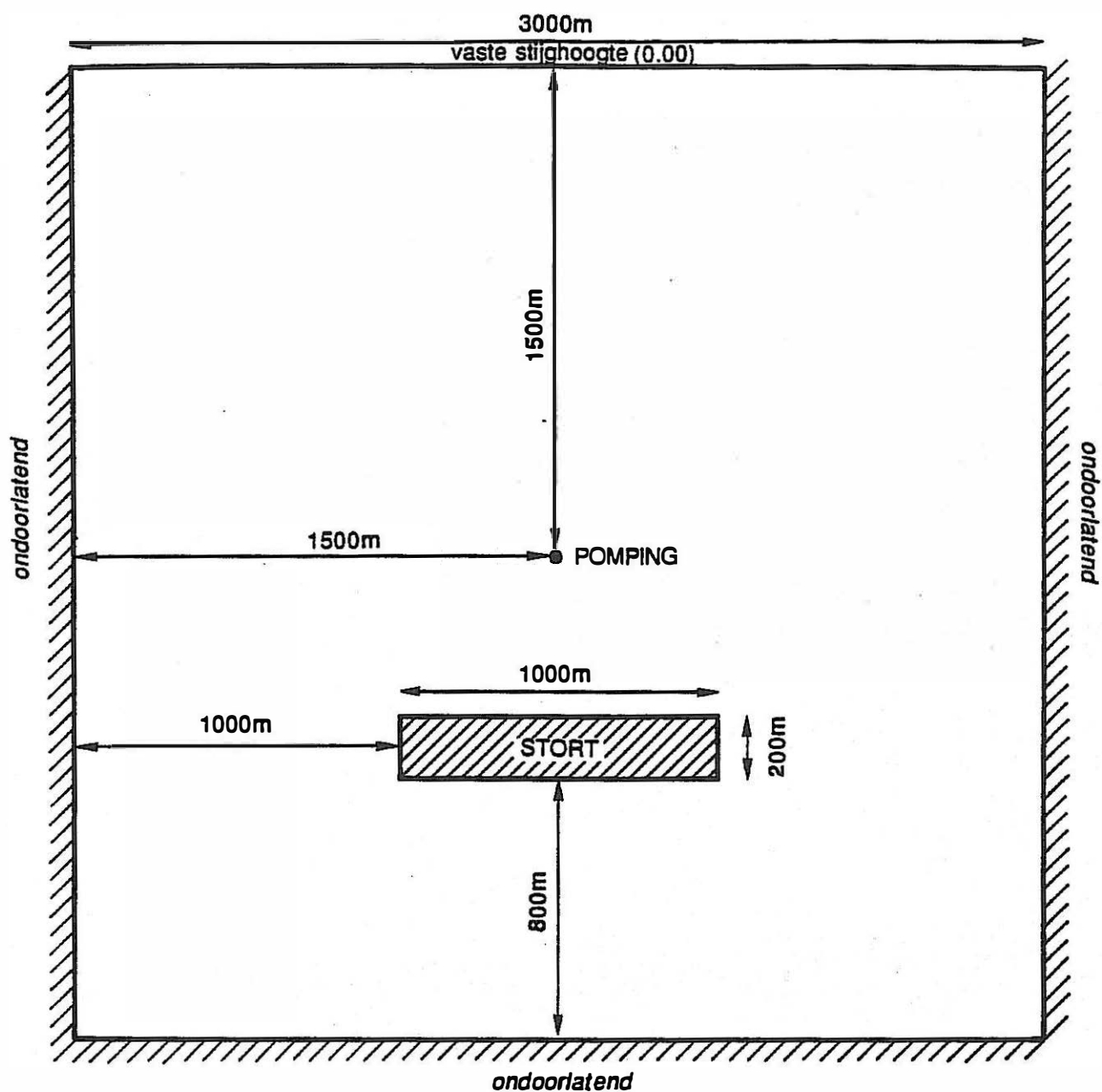


Fig. 1 - Schematische voorstelling van de concrete opdracht : vooraanzicht



schaal: 1/20 000

Fig. 2 - Schematische voorstelling van de concrete opdracht : bovenaanzicht

1. **MODFLOW** (Mc DONALD & HARBAUGH ,1988). Dit is een stromingsmodel dat een stijghoogteverdeling in een meerlagig grondwaterreservoir berekent. Deze berekende stijghoogteverdeling kan door de programma's MODPATH en MT3D gebruikt worden.
2. **MODPATH** (POLLOCK,1989). Dit is een stroomlijnprogramma dat gekoppeld is aan het MODFLOW programma. Het programma berekent stroomlijnen door deeltjes te volgen. Deze kunnen in de stroomrichting of tegen de stroomrichting in gevolgd worden.
3. **MOC** (KONIKOV & BREDEHOEFT,1978). Dit is een tweedimensionaal transportmodel. Hiermee kunnen simulaties in een horizontaal vlak worden uitgevoerd , waarbij aangenomen wordt dat het reservoir uit slechts één enkele watervoerende laag bestaat , en in een vertikaal vlak volgens een profiel. Dit geeft de verspreiding van een opgeloste stof in functie van de diepte.
4. **MT3D** (ZHENG , 1990). Dit is een drie dimensionaal transportmodel. De stijghoogteverdeling moet in het model ingevoerd worden en door een ander model berekend worden. Hier werden de stijghoogten met het MODFLOW programma berekend , aangezien er een gemakkelijke koppeling tussen beide programma's mogelijk is. Daarbij wordt dan gebruik gemaakt van het netwerk van het MODFLOW model.

Bij de bespreking van de resultaten zal telkens aangegeven worden welke gegevens in het model zijn ingevoerd. Er is getracht bij de simulaties steeds dezelfde netwerkopbouw te gebruiken. Aangezien de resultaten enkel als referentiemateriaal dienen , zal de hydrogeologische betekenis van de resultaten niet besproken worden.

4.3.2 Resultaten van het programma MODFLOW

4.3.2.1 Ingevoerde gegevens

Het reservoir werd geschematiseerd tot 10 watervoerende lagen. Elke laag is 5 m dik. De dikte van de bovenste laag is afhankelijk van de stand van de watertafel. De basis van deze bovenste , eerste laag ligt op peil -5. De tweede laag bevindt zich tussen -5 en -10 , de derde tussen -10

en -15 , en de tiende onderste laag tussen -45 en -50. Het modelnetwerk bestaat uit 75 kolommen en 76 rijen. Elke cel is 40 op 40 m. In de eerste rij werden in alle lagen vaste stijghoogten op peil 0.00 ingevoerd. De horizontale doorlatendheid bedraagt 10 m/d. Tussen de verschillende lagen bevindt zich een hydraulische weerstand van 2.5 d. Dit is de hydraulische weerstand die optreedt over een laagdikte van 5 m wanneer de verticale doorlatendheid $1/5$ (0.20) van de horizontale doorlatendheid bedraagt. Op het gebied valt een nuttige neerslag van 270 mm/jaar. Dit komt overeen met een voeding van $6652.98 \text{ m}^3/\text{dag}$ voor het gebied van 3 op 3 km. De pompput bevindt zich in de cel met rijnummer 39 en kolomnummer 38 en valt samen met het centrum van de cel.

Bij het uitvoeren van het modflow programma werd gebruik gemaakt van de modules BAS, BCF,RCH,WEL en SIP. De SIP-methode werd als numerieke oplossingsmethode gekozen. De tolerantie werd zodanig klein gekozen dat de berekende stijghoogten , meer bepaald in de aangepompte cel , niet merkbaar meer veranderden. De aangenomen tolerantie bedraagt 10^{-5} m. Bij de berekeningen bedroegen na convergentie de fouten op de massabalansen ongeveer 0.03%.

4.3.2.2 Resultaten

Met het MODFLOW-model kan op de vragen 1 , 2 en 3 van de vragenlijst geantwoord worden.

Vraag 1:

De berekende stijghoogten ingeval niet gepompt wordt zijn voorgesteld voor de watertafel (Fig 4) en voor de onderste laag , nabij de basis van het reservoir (Fig 5).

Vraag 2:

De berekende stijghoogten ingeval gepompt wordt met $1000 \text{ m}^3/\text{dag}$ zijn voorgesteld voor de watertafel (Fig 6) en voor de basis van het reservoir (Fig 7).

Vraag 3:

De berekende verlaging van de watertafel staat voorgesteld op fig 8 en de verlaging nabij de

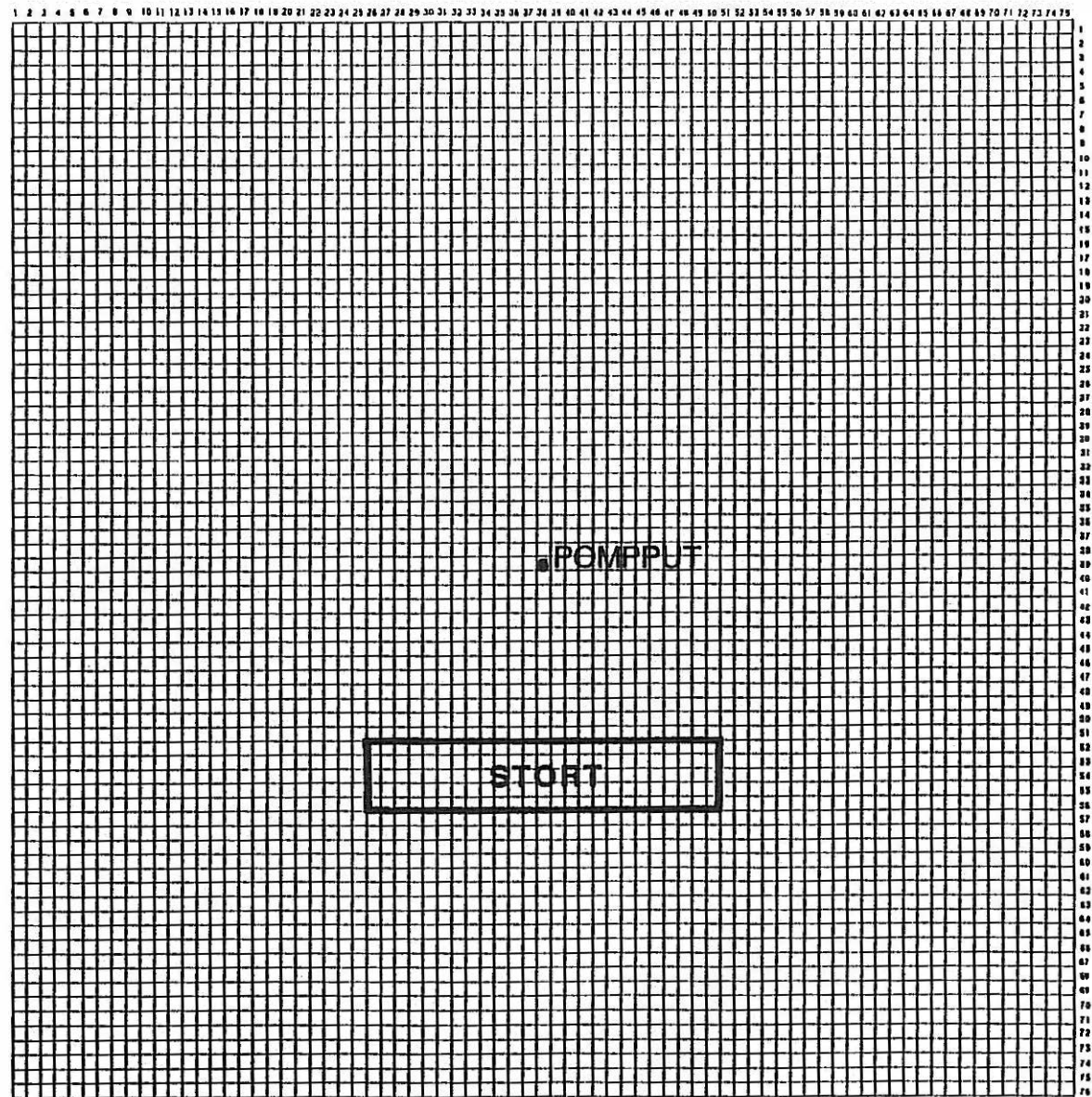


Fig. 3 - Gebruikt netwerk in het MODFLOW-MT3D model

MODFLOW•BEREKENDE STIJGHOOGTEN NABIJ BASIS RESERVOIR•ZONDER POMPING

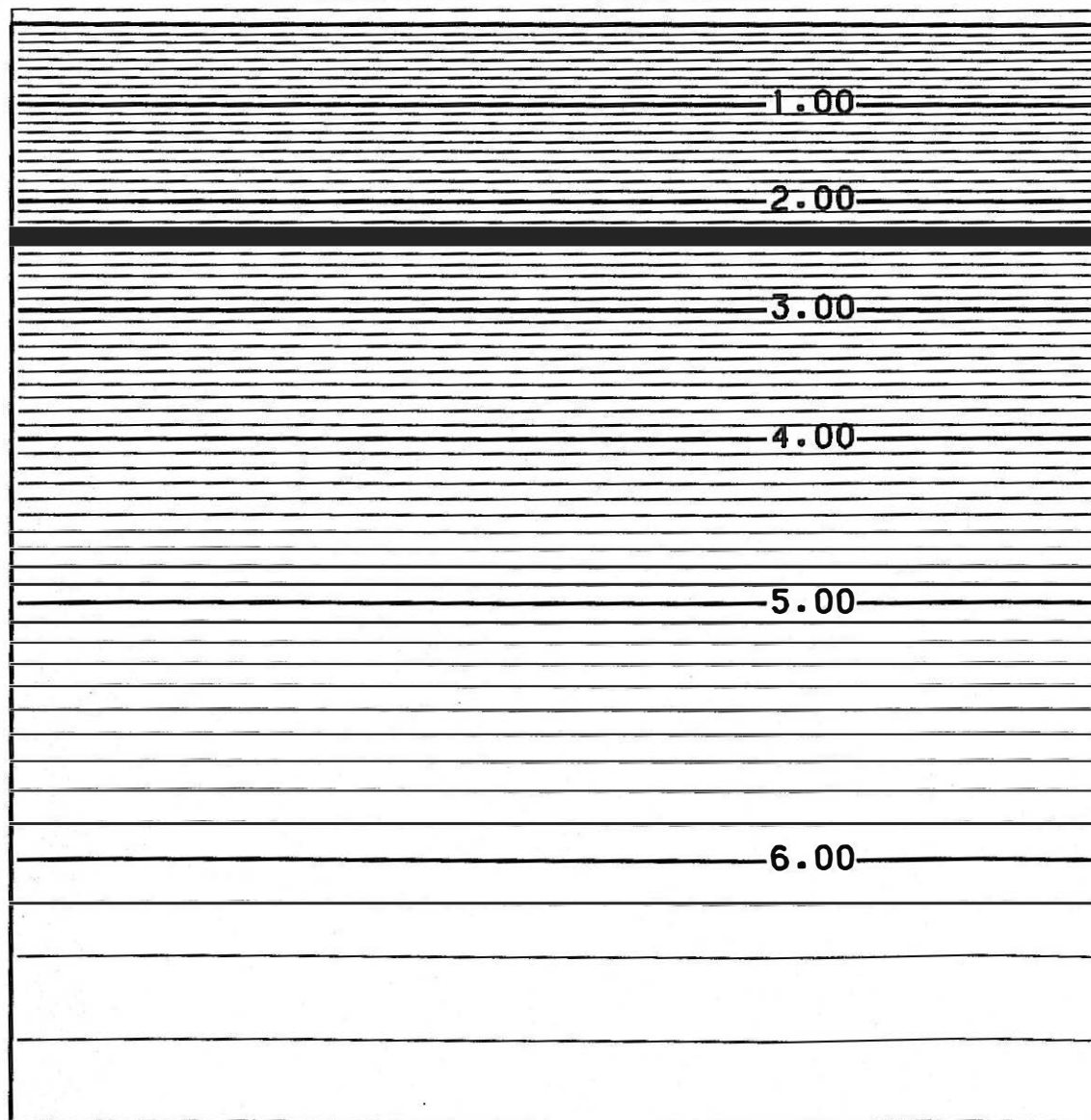


Fig. 4 - MODFLOW : Toestand zonder pomping : berekende stijghoogten nabij de basis van het reservoir

MODFLOW-BEREKENDE STIJGHOOGTEN NABIJ WATERTAFEL-ZONDER POMPING

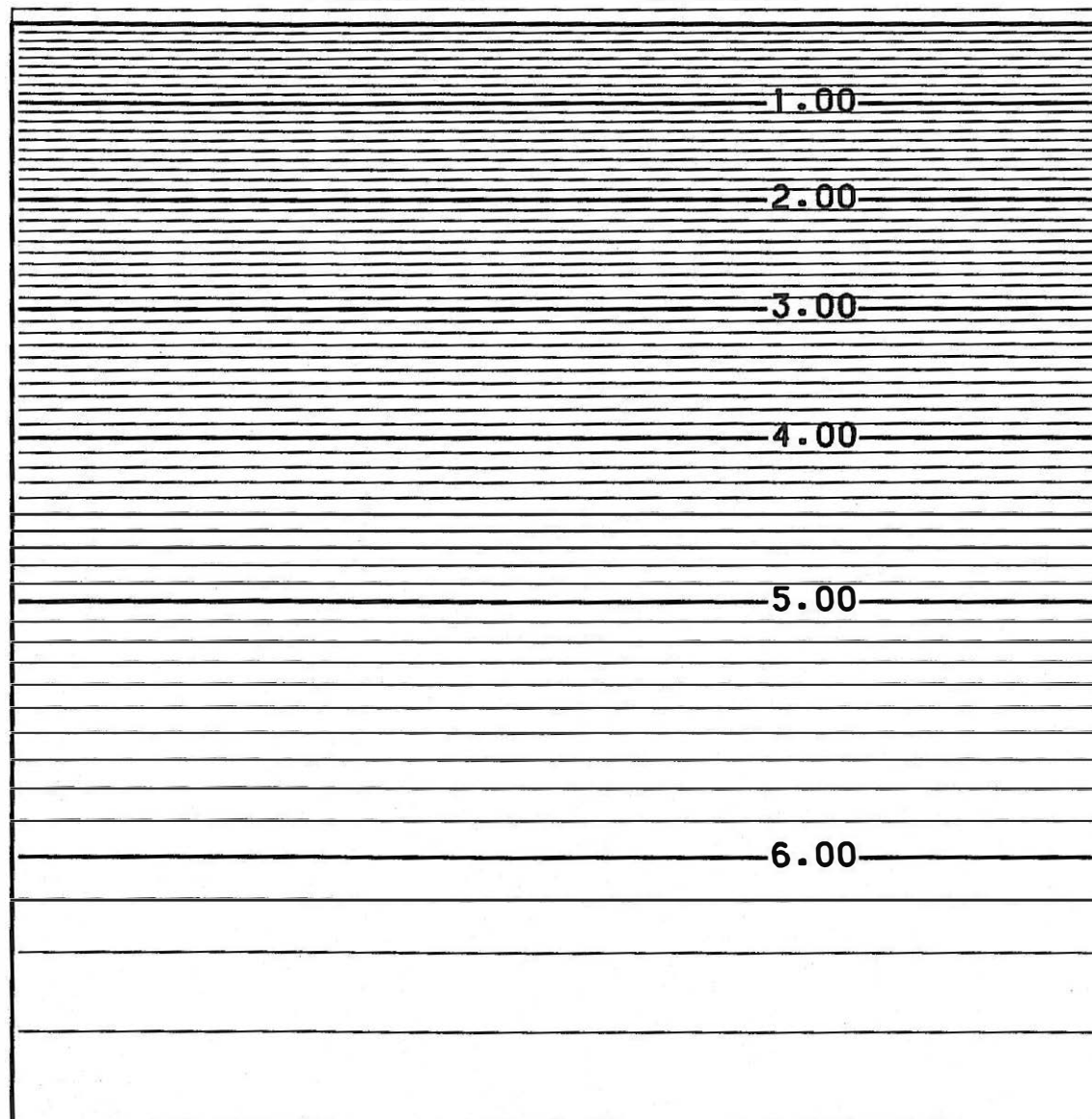


Fig. 5 - MODFLOW : Toestand zonder pomping : berekende stijghoogten nabij de watertafel

MODFLOW-BEREKENDE STIJGHOOGTEN NABIJ BASIS-MET POMPING

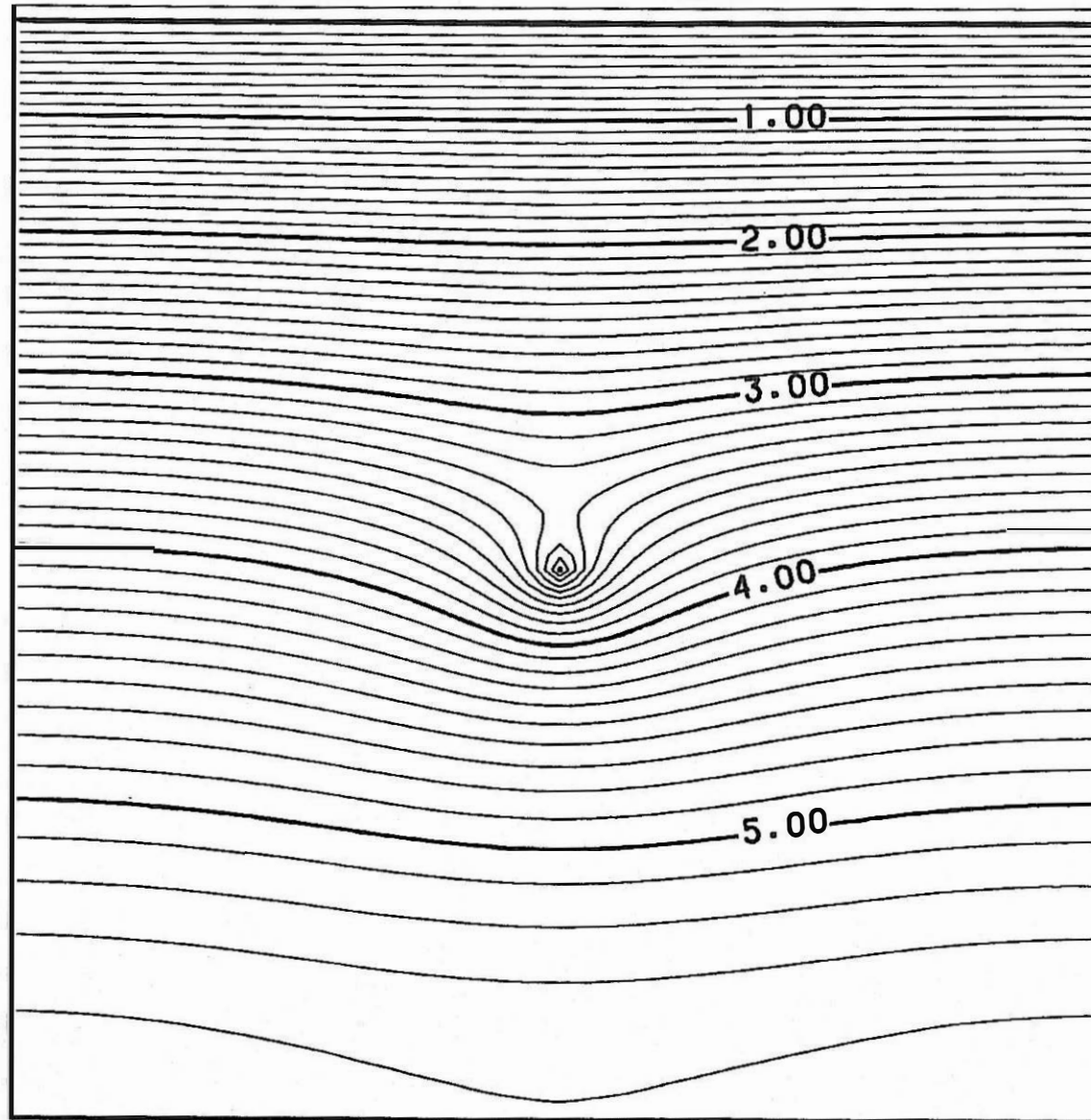


Fig. 6 - MODFLOW : Toestand met pumping : berekende stijghoogten nabij de basis van het reservoir

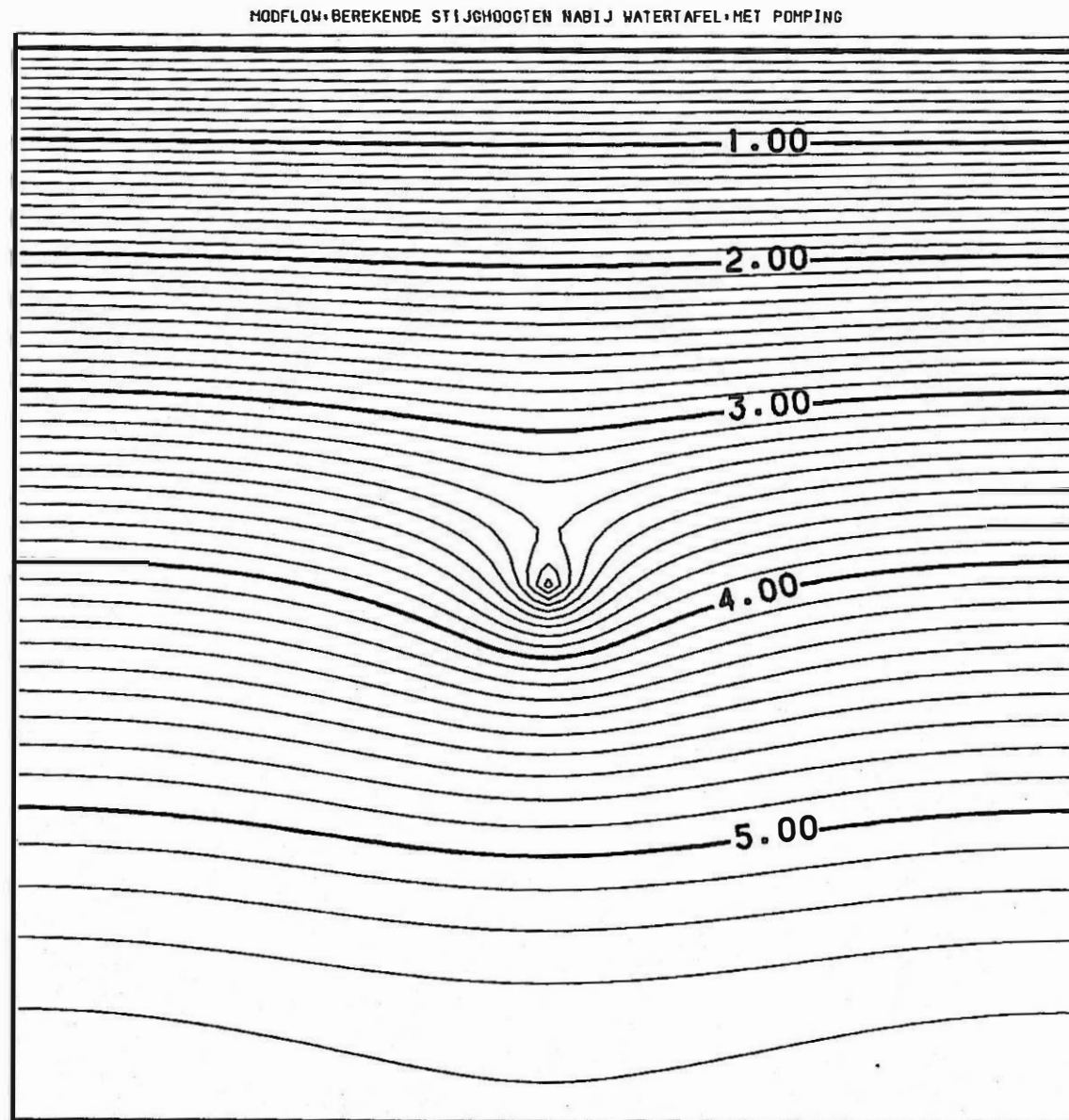


Fig. 7 - MODFLOW : Toestand met pomping : berekende stijghoogten nabij de watertafel

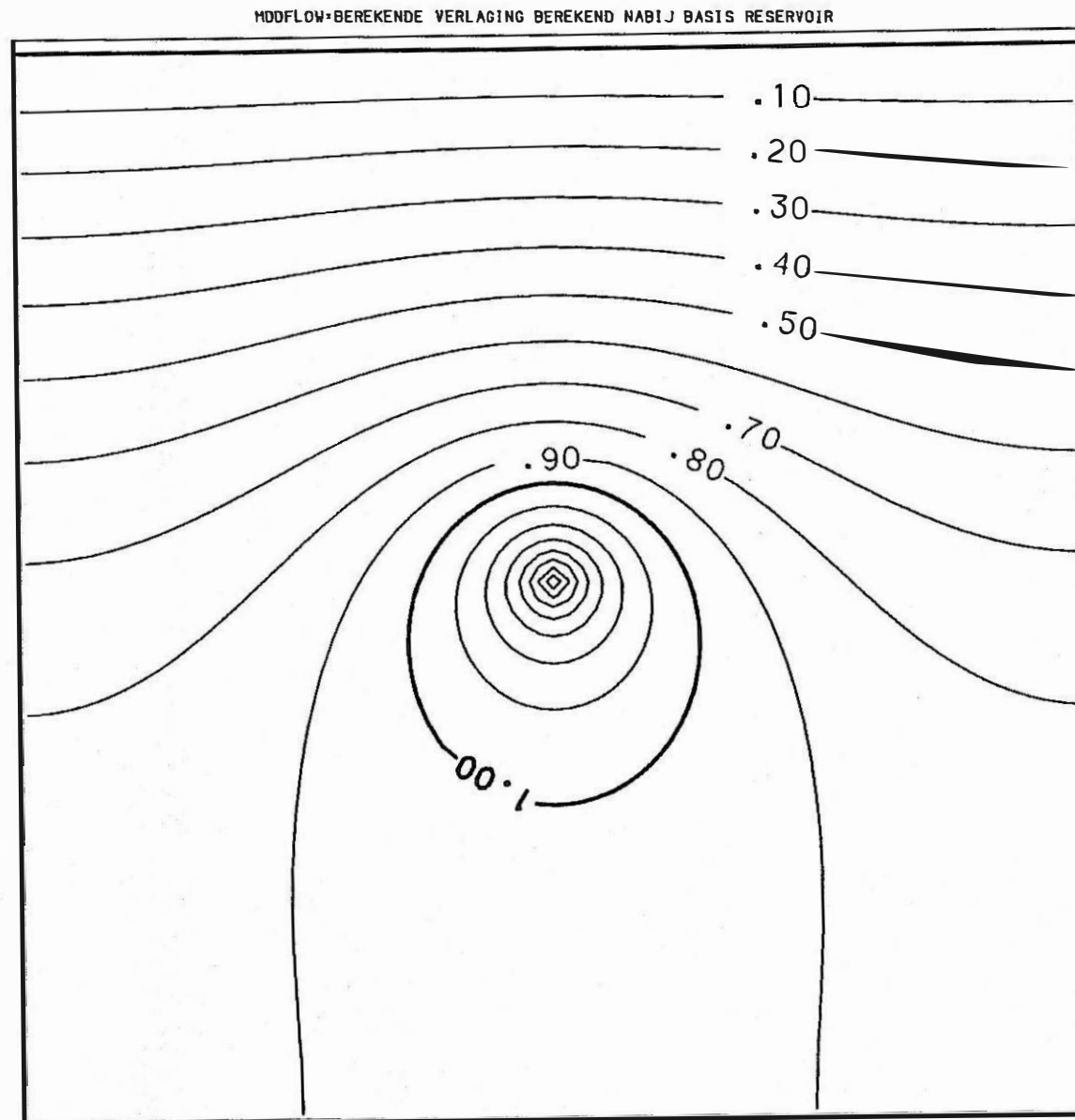


Fig. 8 - MODFLOW : Toestand met pumping : berekende verlaging nabij de basis van het reservoir

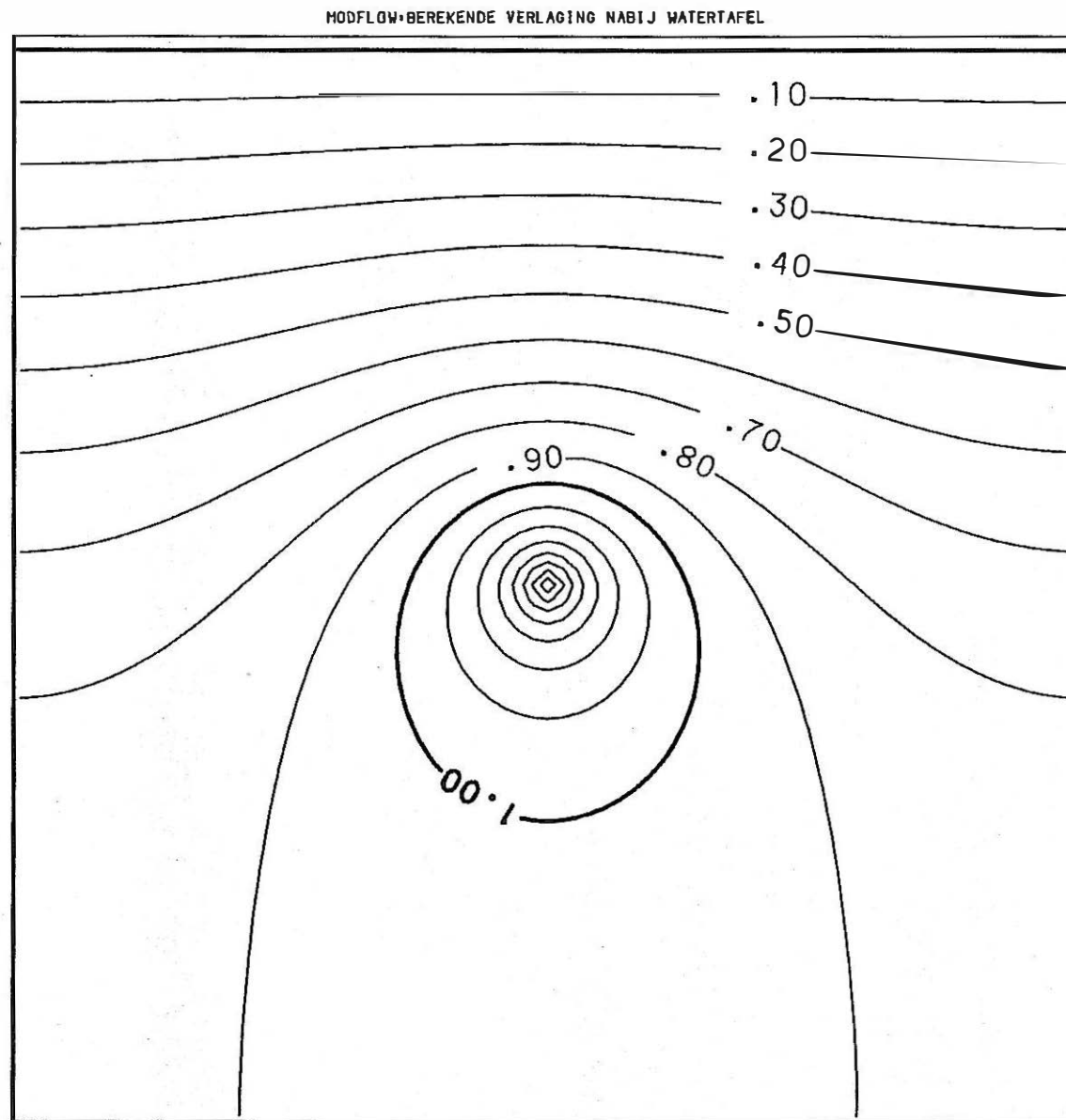


Fig. 9 - MODFLOW : Toestand met pomping : berekende verlaging nabij de watertafel

basis van het reservoir op fig 9.

Aangezien in het reservoir geen slechtdoorlatende lagen voorkomen , zijn de stijghoogten nabij de watertafel en nabij de basis van het reservoir ongeveer gelijk.

4.3.3 Resultaten van het programma MODPATH

4.3.3.1 Ingevoerde gegevens

De waterdoorlatende porositeit van de lagen werd op 0.38 genomen. Vanuit elke cel die onder het stort ligt vertrekt een stroomlijn. Dit betekent dat er om de 40 m een waterdeeltje gevolgd wordt. Per cel wordt slechts één waterdeeltje gevolgd , dat aanvankelijk centraal in de cel nabij de watertafel gelokaliseerd is . Het stroomlijnenprogramma volgt deze deeltjes tot ze in de pompput of aan de rand van het modelgebied (hier de noordrand) terechtkomen.

4.3.3.2 Resultaten

Met het MODPATH programma kan op de vragen 4 t.e.m. 5 van de specifieke vragenlijst geantwoord worden. De resultaten worden voorgesteld op kaarten waarop de stroomlijnen in bovenaanzicht getekend worden. De reistijden worden door het programma berekend maar zijn enkel in de tekst vermeld.

De resultaten van de simulatie zonder pumping staan op fig 10. Uit de berekening blijkt de noordgrens van het modelgebied ten vroegste na 85 jaar bereikt te worden. Stroomlijnen die nabij de zuidzijde van het stort vertrekken doen er wat langer over (ongeveer 99 jaar). De stroomlijnen bereiken na 40 jaar de bovenste helft van de filter van de pompput (laag 5).

De resultaten van de simulatie met pumping zijn voorgesteld op Fig 11. Op de figuur is af te leiden welk deel van het stort naar de pompput toestroomt en welk deel langsheen de pompput tot aan de noordrand zal vloeien. De pompput wordt ten vroegste na 20 jaar bereikt. De stroomlijnen die langsheen de pompput passeren en toch naar de noordgrens stromen zullen deze bereiken na ten vroegste 105 jaar.

MODPATH:TOESTAND ZONDER POMPING

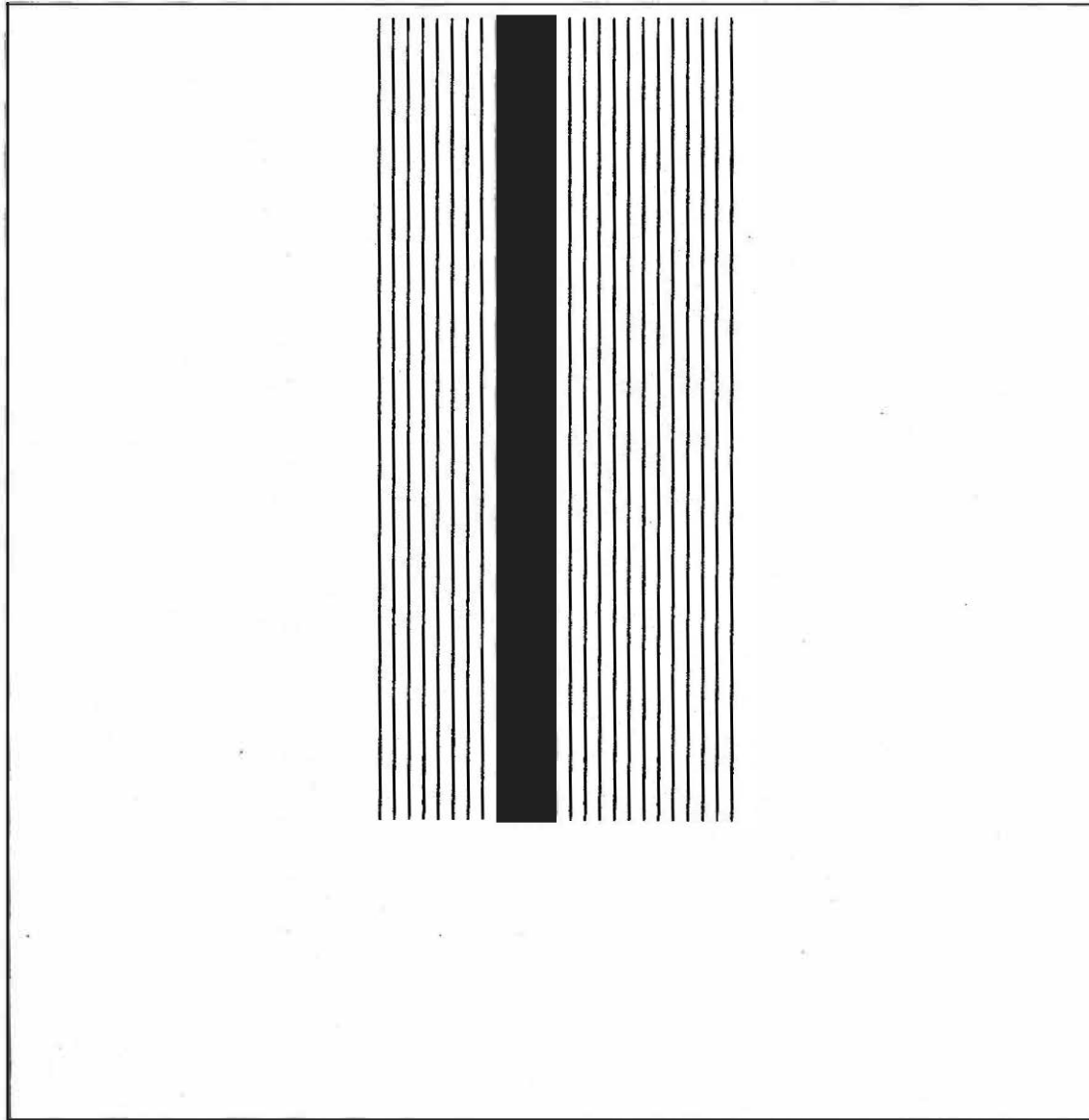


Fig. 10 - MODPATH : Toestand zonder pumping : berekende stroomlijnen

MODPATH:TOESTAND MET POMPING

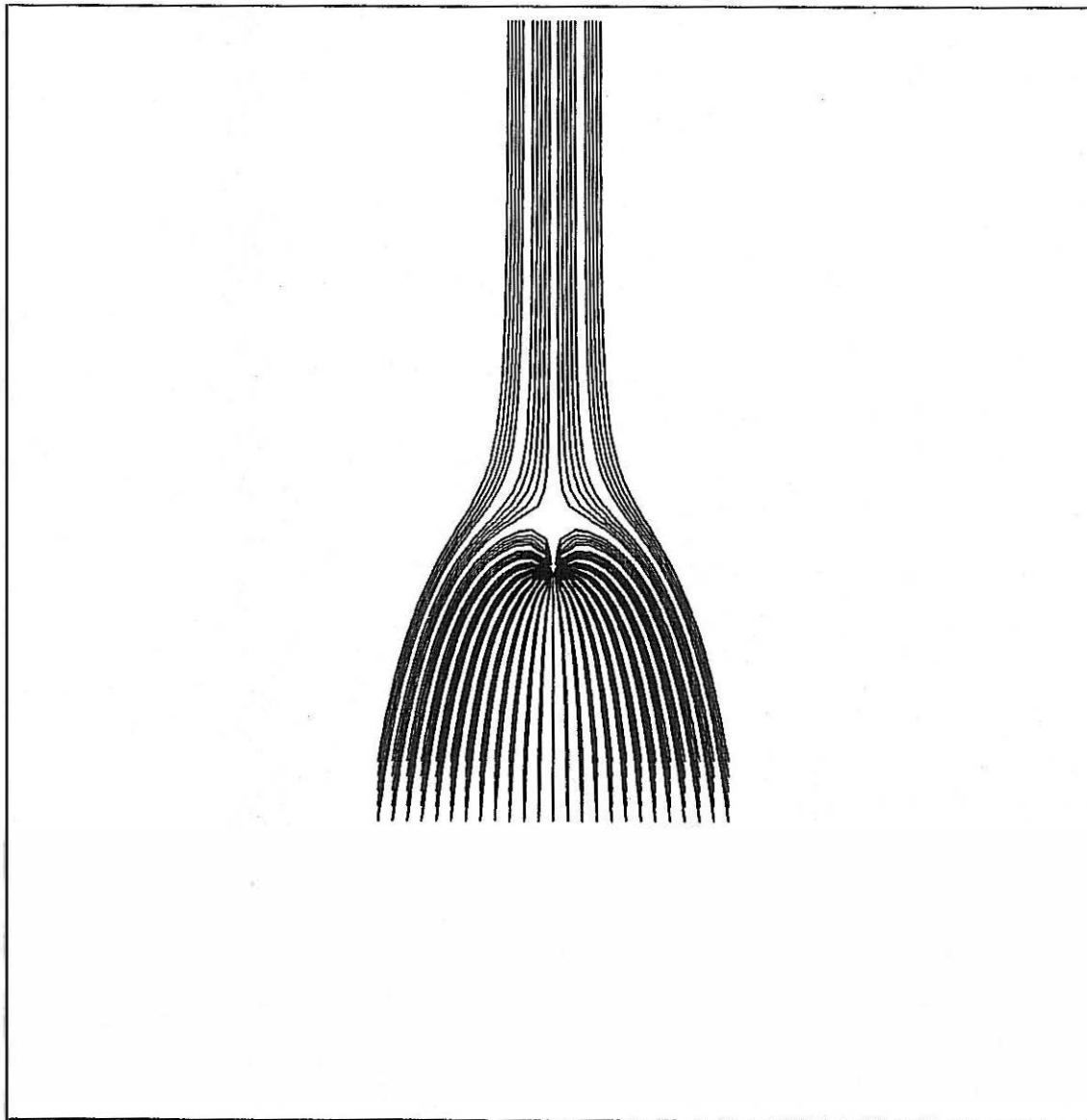


Fig. 11 - MODPATH : Toestand met pumping : berekende stroomlijnen

4.3.4 Resultaten van het programma MOC

4.3.4.1 Ingevoerde gegevens

Met het 2-dimensionaal MOC-transport model werden 2 simulaties uitgevoerd:

1. Volgens een horizontaal vlak waarbij het hele reservoir als één enkele watervoerende laag wordt beschouwd.
2. Volgens een verticale noord-zuid doorsnede doorheen de pompput en de stortplaats

Het horizontaal model gebruikt hetzelfde grid als het MODFLOW model , maar werd langs elke zijde met één rij of kolom uitgebreid omdat het MOC model in de eerste en laatste rijen en kolommen geen resultaten berekend. Het grid bestaat dus uit 77 kolommen op 78 rijen. Elke cel is 40 op 40 m. Het reservoir kreeg een gemiddelde dikte van 53 m , het verschil tussen een geschatte gemiddelde stand van de watertafel (+3) en de basis van het reservoir (-50). Per cel worden 9 deeltjes gegenereerd.

In het vertikaal model werd dezelfde horizontale diskretisatie gebruikt als in het MODFLOW model , nl 40 m per cel. Doordat de doorsnede noord-zuid loopt komt het aantal kolommen in het MOC model overeen met het aantal rijen in het MODFLOW-model , vermeerderd met 2 buitenste kolommen waarin geen resultaten berekend worden. Het reservoir werd ingedeeld in 20 lagen van elk 2.5 m dik.

Bij de toestand met de pumping kan het pompdebiet (1000 m³/d) niet als zodanig in het model ingevoerd worden omdat het model slechts 2-dimensionaal is. Daarom wordt het pompdebiet gekalibreerd totdat de berekende stijghoogten in de aangepompte cellen ongeveer dezelfde zijn als in het MODFLOW-model.

4.3.4.2 Resultaten

Met het MOC-model kan op de vragen 6 , 7 , 8 en 9 geantwoord worden.

Met het model MOC wordt een concentratieverdeling in functie van de tijd berekend. De

resultaten worden daarom in tijdreeksen voorgesteld. De berekende concentratieverdeling wordt na 10 , 20 , 30 , 40 , 50 en 100 jaar voorgesteld. Op de figuren zijn lijnen van gelijke stijghoogte aangegeven. Het interval bedraagt 0.10 m bij het horizontaal model en 0.25 m bij het vertikaal model. De concentraties worden hier als procentuele waarden van een beginconcentratie beschouwd. De beginconcentratie van het stortperkolaat bedraagt dan 100%. De concentratieverdeling wordt dan voorgesteld met lijnen van gelijke procentuele concentratie. Het interval is op de figuren aangeduid. De lijnen zijn getekend met een verschillende dikte. Stromingsverktoren geven de richting en grootte van de stroming aan. Deze zijn enkel op de verticale profielen aangegeven. Op de figuren van het horizontaal model staat de begrenzing van het modelgebied met een dikke lijn aangegeven.

Het antwoord op vraag 6 , gebaseerd op een horizontaal model zonder pumping , zijn voorgesteld op fig 12 t.e.m. 17. Uit de figuren blijkt dat de berekende concentraties slechts tussen 10 en 20 % bedragen. Deze lage waarden worden veroorzaakt door het feit dat het model hier slechts één enkele laag in het reservoir beschouwd en zijn een gemiddelde over de ganse dikte van de laag. Het antwoord op vraag 8 , de concentratieevolutie in de pompput , die hier als waarnemingsput dienst doet , wordt gegeven in fig 18. Hier blijkt dat in de put de concentraties vanaf 30 jaar beginnen stijgen , en vanaf ongeveer 50 jaar constant blijft. Aan de noordgrens beginnen de concentraties vanaf ongeveer 82 jaar te verhogen. De gehalten zijn hier lager dan 10 %.

Het antwoord op vraag 7 , gebaseerd op een horizontaal model met pumping , wordt voorgesteld op fig 19 t.e.m. 24. Uit de figuren blijken de concentraties ook hier maximaal tussen 10 en 20 eenheden te bedragen. Een groot gedeelte van de verontreiniging wordt door de pompput opgevangen. Het antwoord op vraag 9 , het concentratieverloop van het opgepompte water , wordt gegeven in fig 25. Na 20 jaar begint de put verontreinigd water op te pompen.

De berekende stijghoogten van het horizontaal MOC-model komen goed overeen met de stijghoogten die het MODFLOW-model berekent.

Het antwoord op vraag 6 , gebaseerd op een vertikaal model zonder pumping , zijn voorgesteld op figuren 26 en 27. De berekende stijghoogten nabij de zuidrand van het model , zijn in

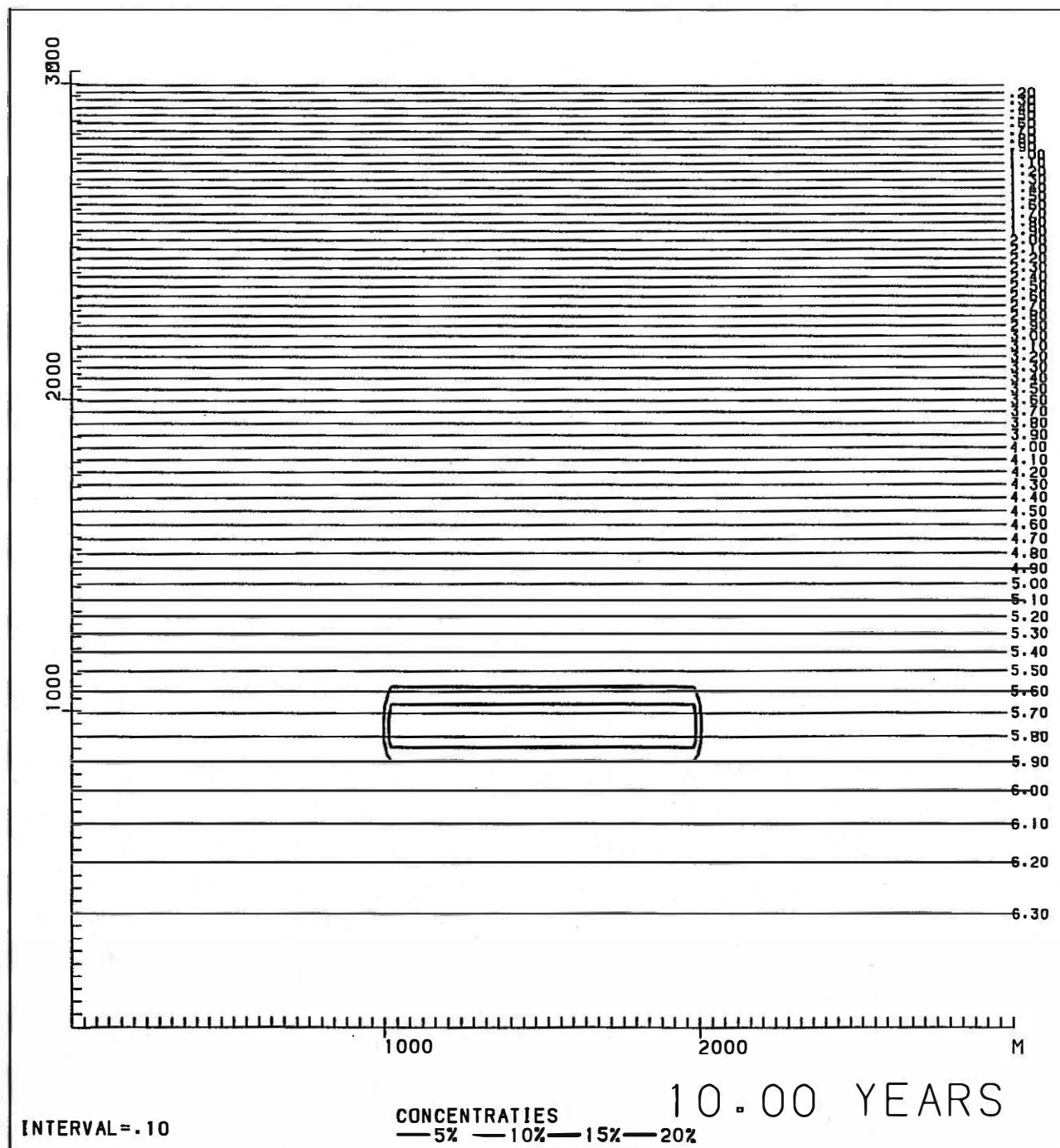


Fig. 12 - MOC : Horizontaal model : toestand zonder pumping : berekende concentraties na 10 jaar

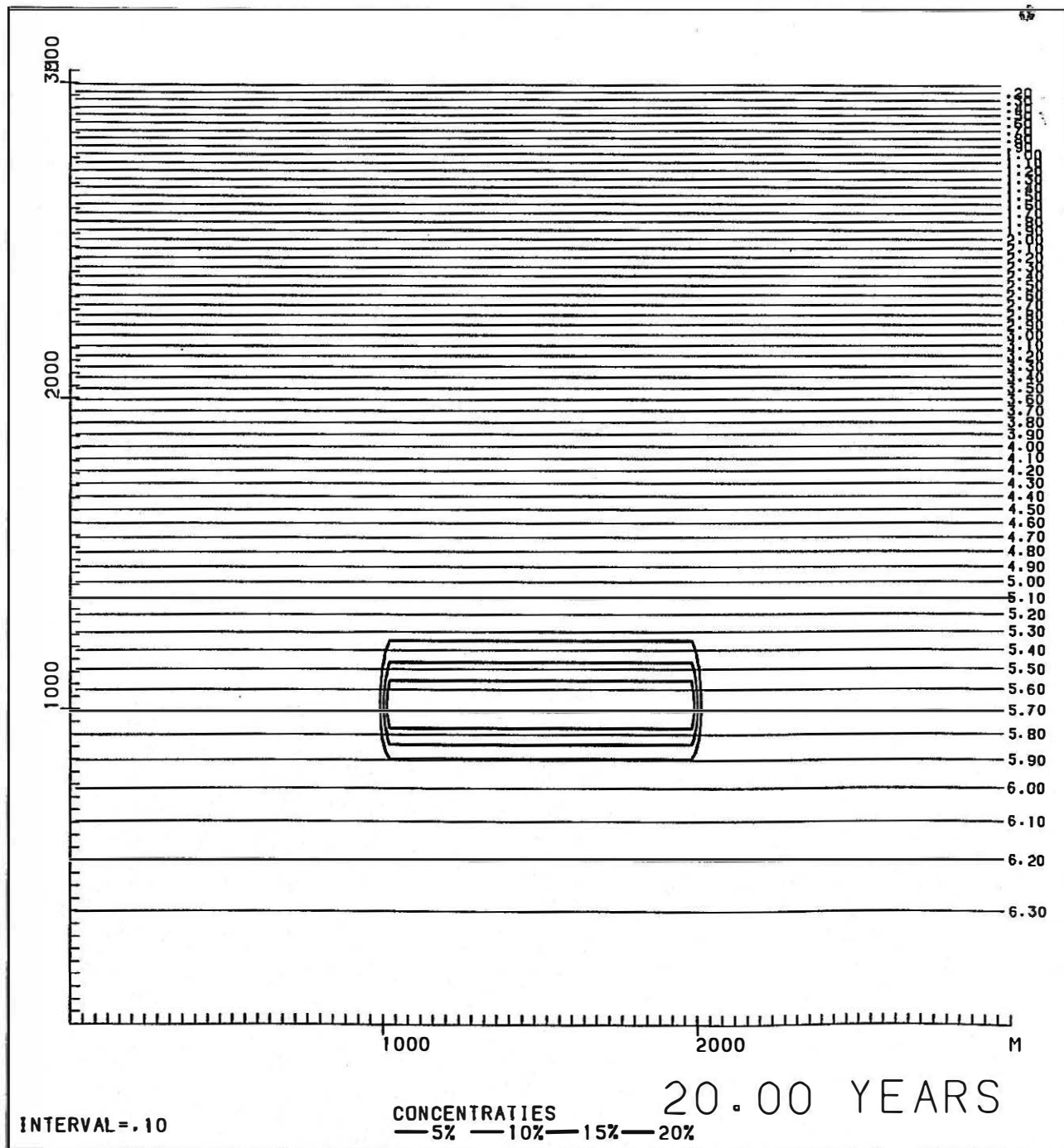


Fig. 13 - MOC : Horizontaal model : toestand zonder pumping : berekende concentraties na 20 jaar

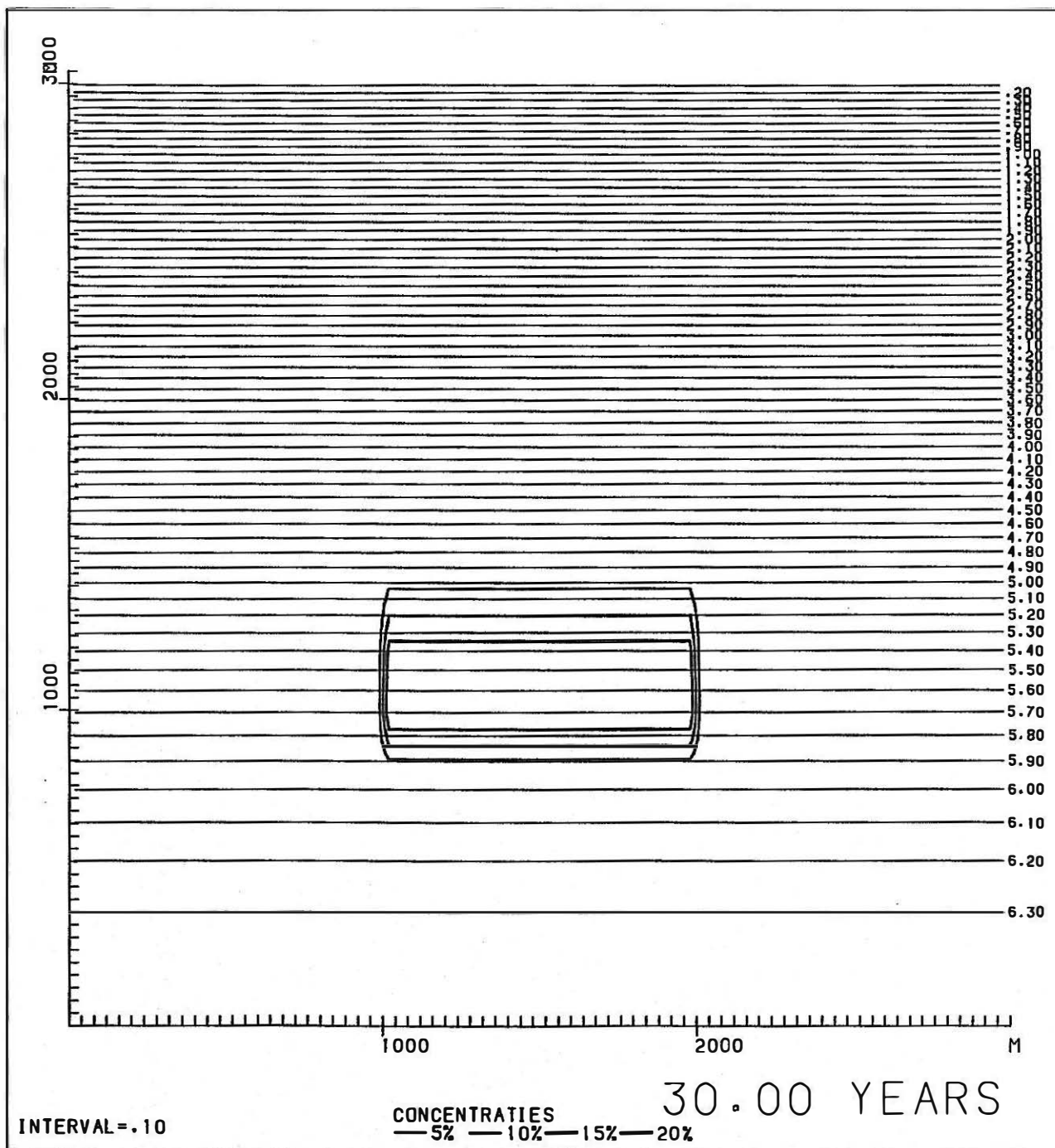


Fig. 14 - MOC : Horizontaal model : toestand zonder pumping : berekende concentraties na 30 jaar

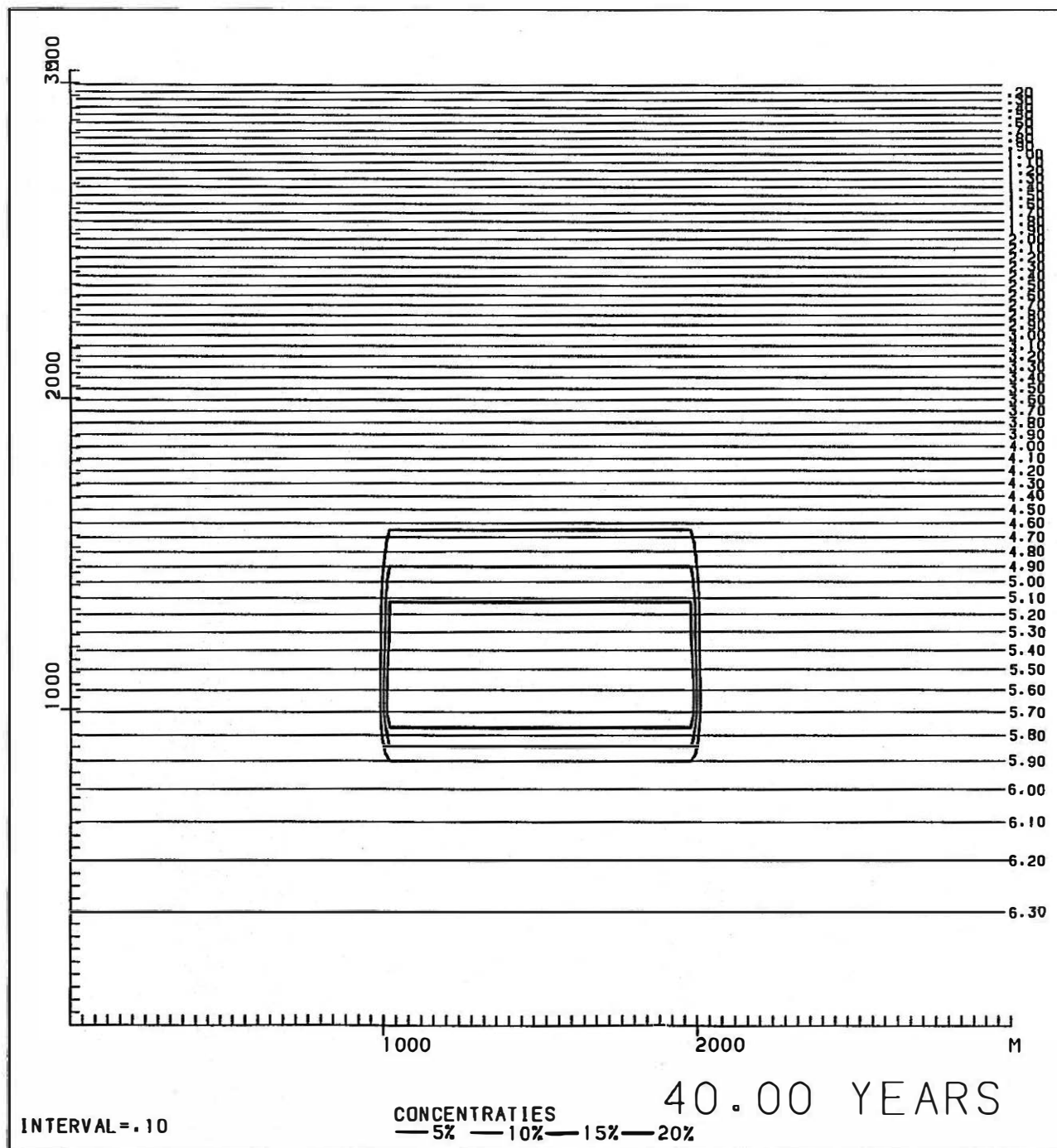


Fig. 15 - MOC : Horizontaal model : toestand zonder pumping : berekende concentraties na 40 jaar

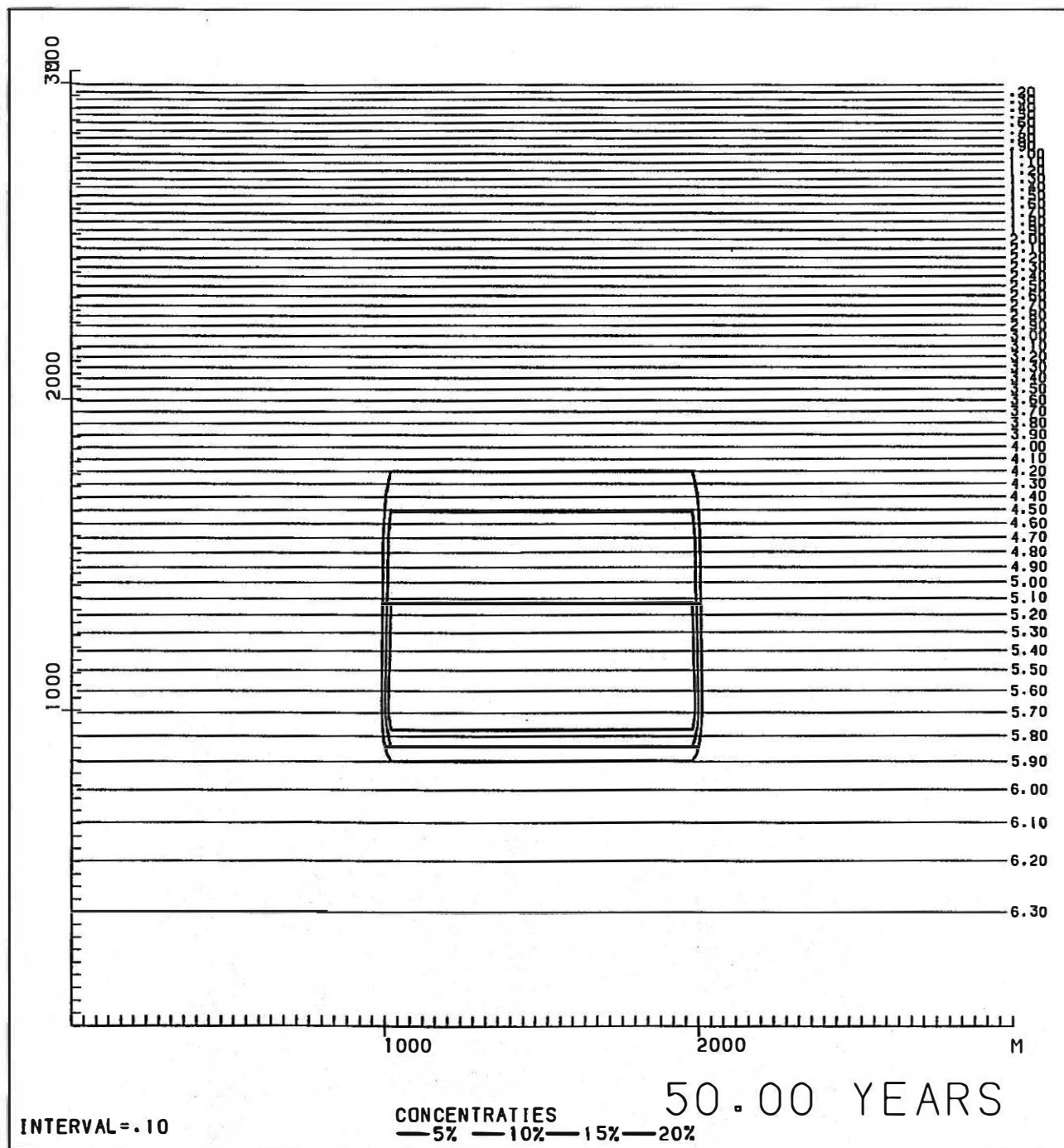


Fig. 16 - MOC : Horizontaal model : toestand zonder pumping : berekende concentraties na 50 jaar

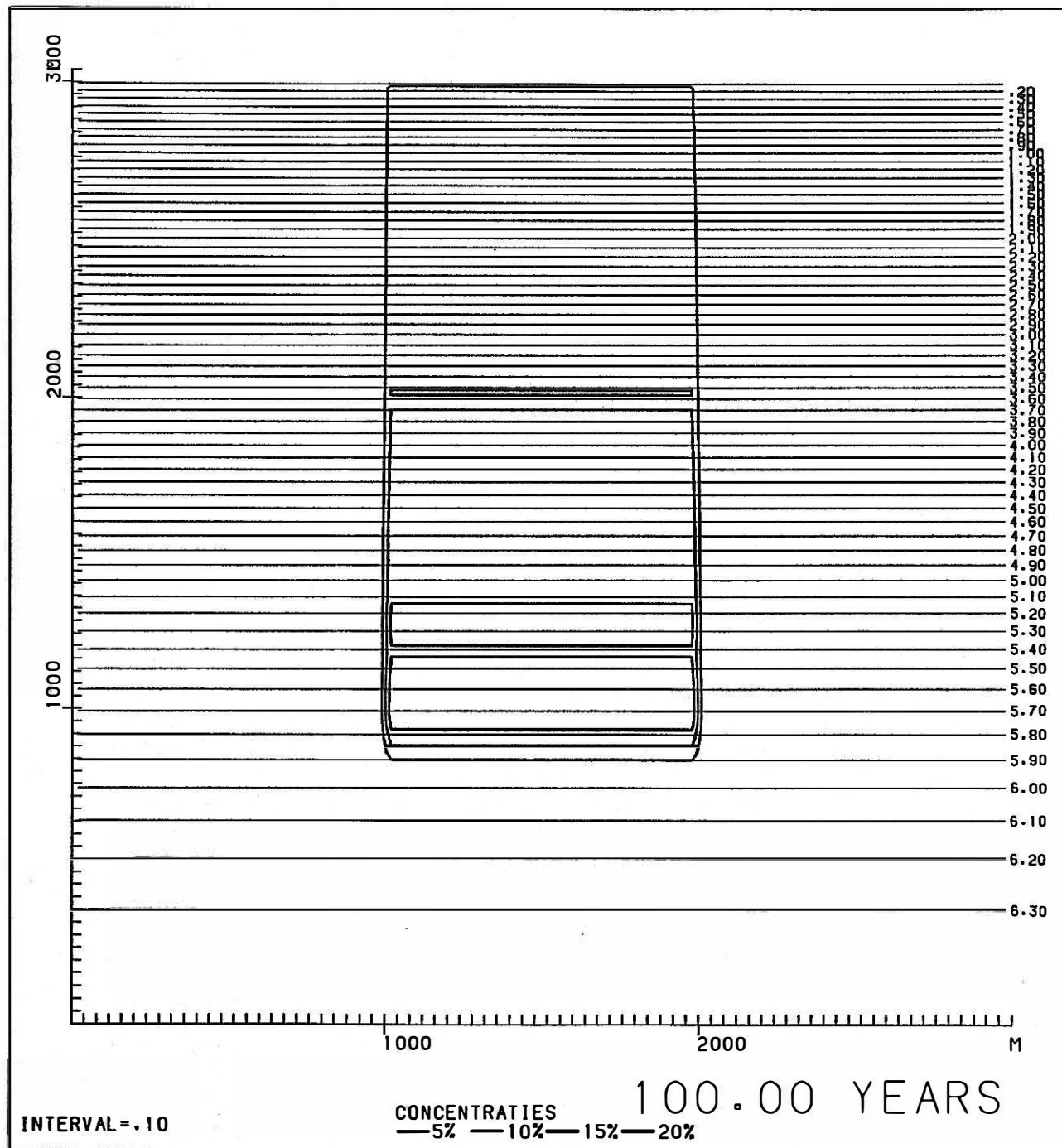


Fig. 17 - MOC : Horizontaal model : toestand zonder pumping : berekende concentraties na 100 jaar

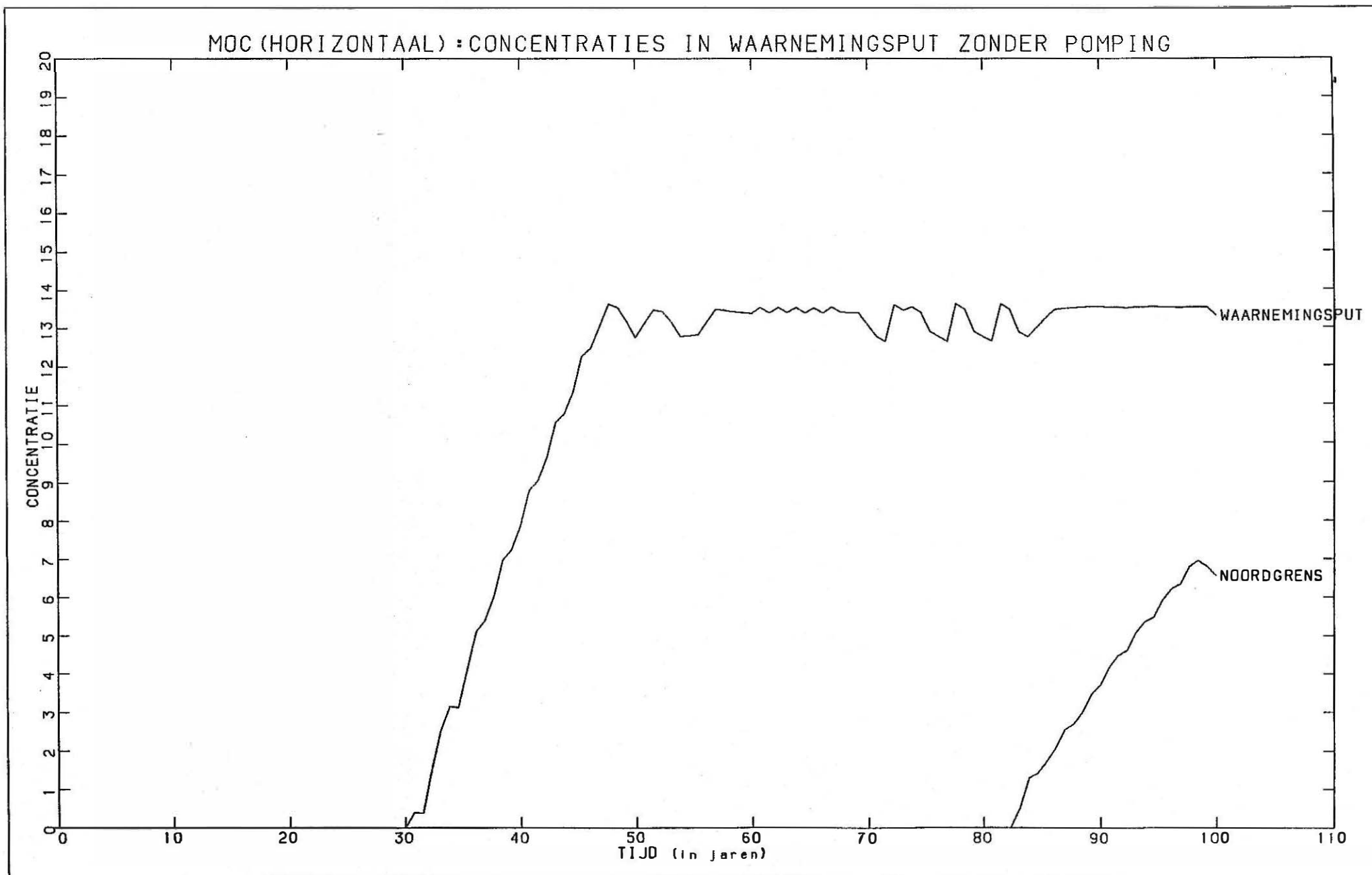


Fig. 18 - MOC : Horizontaal model : toestand zonder pomping : concentratieverloop in de pompput

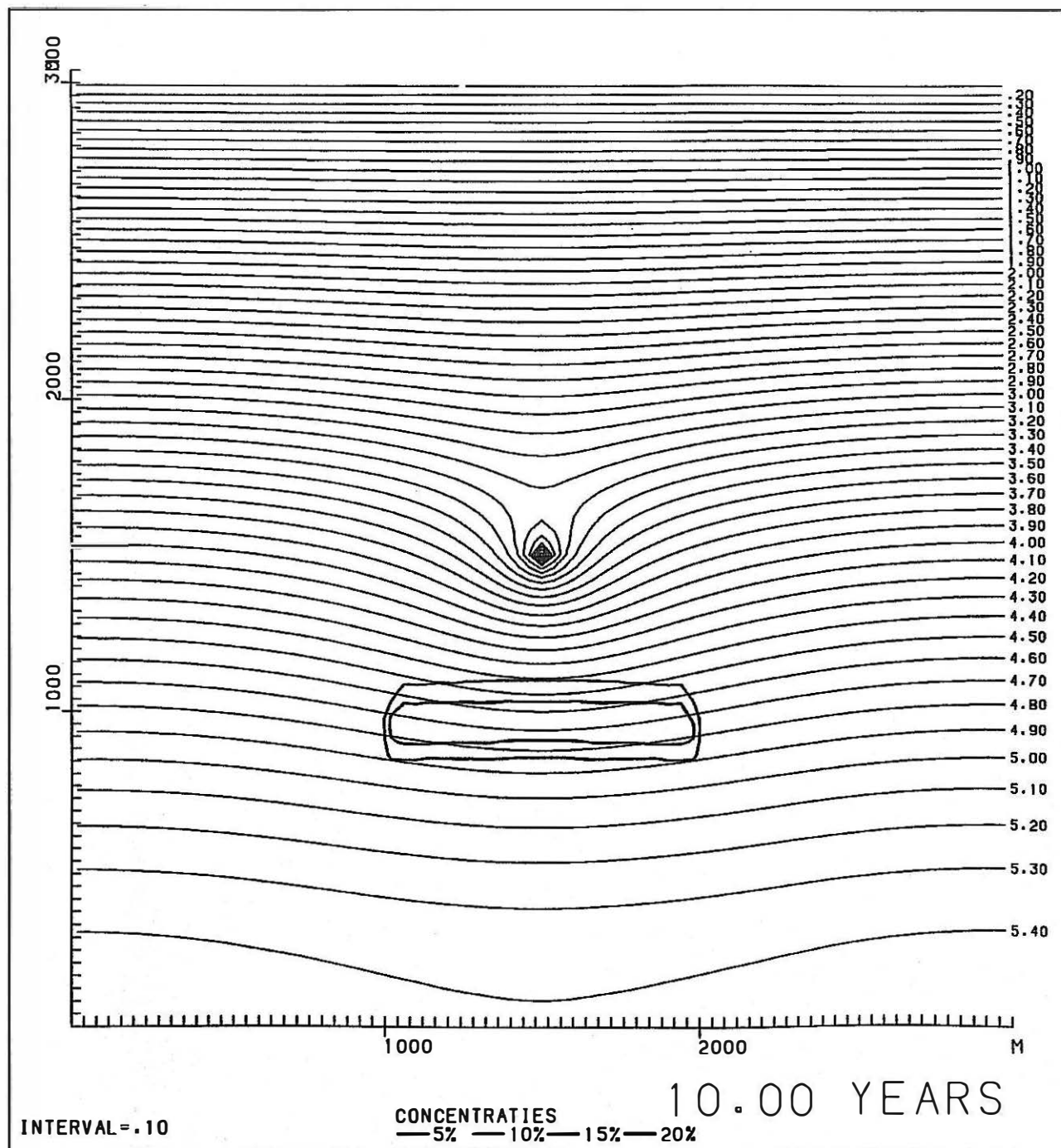


Fig. 19 - MOC : Horizontaal model : toestand met pumping : berekende concentraties na 10 jaar

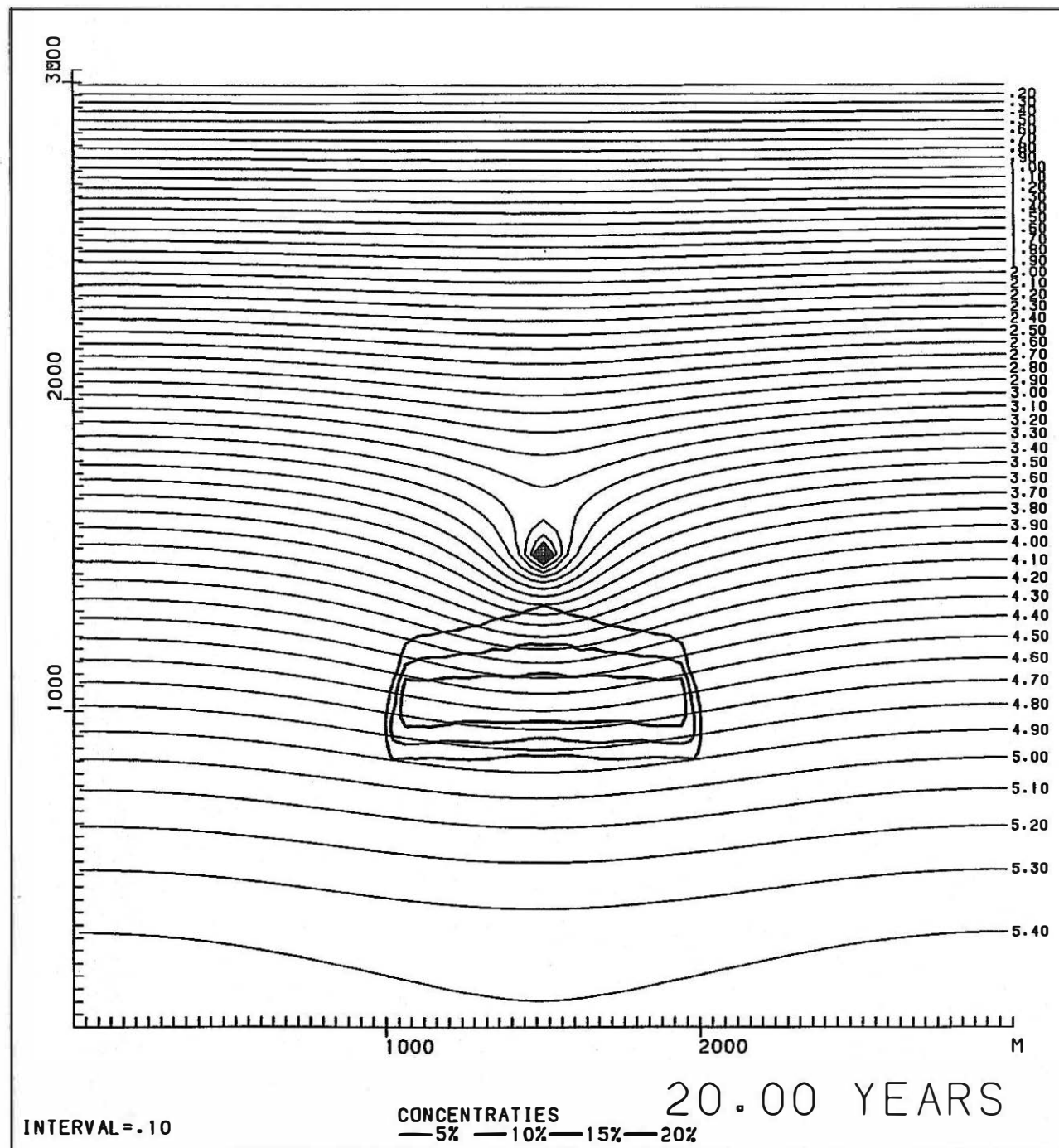


Fig. 20 - MOC : Horizontaal model : toestand met pumping : berekende concentraties na 20 jaar

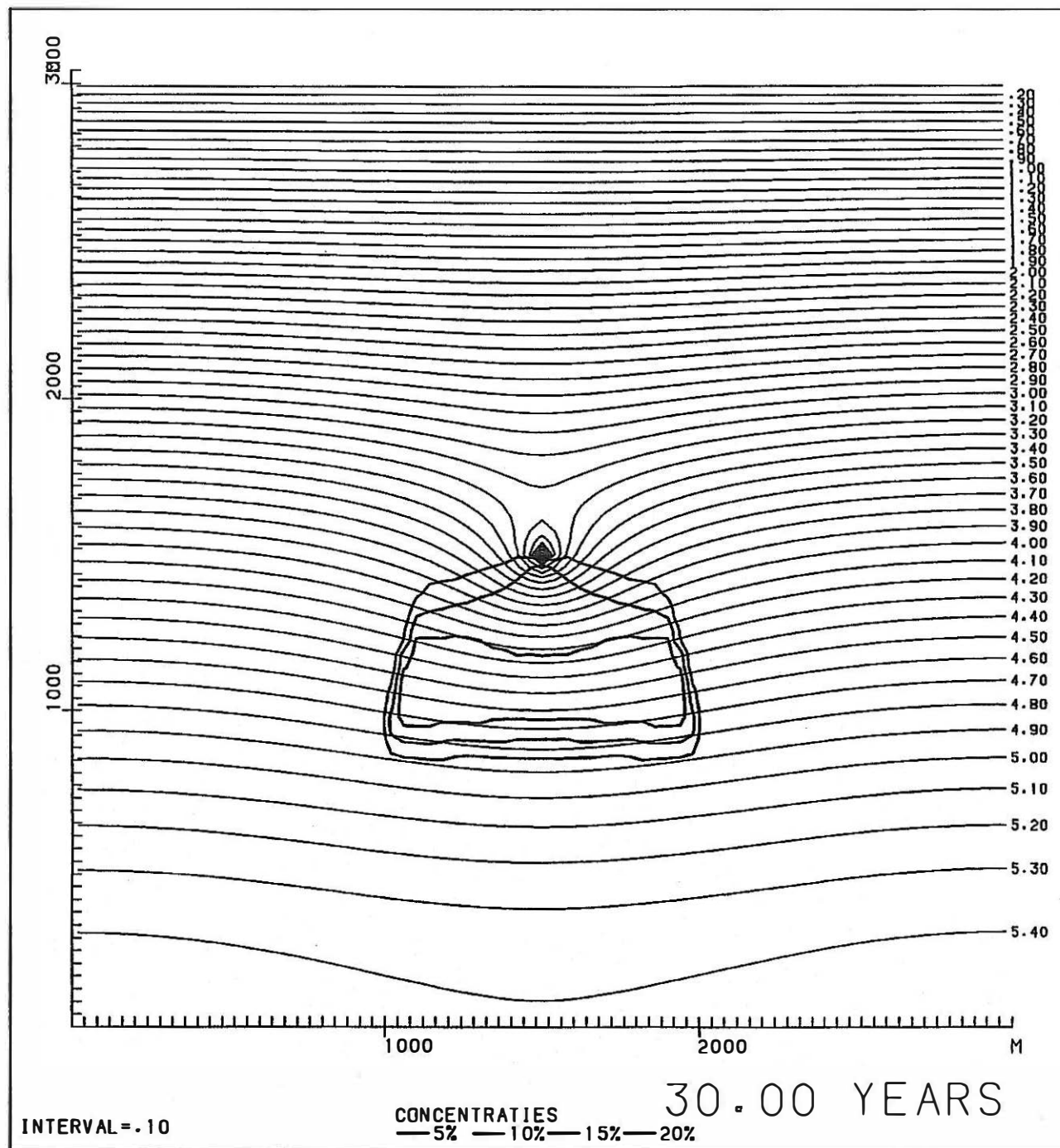


Fig. 21 - MOC : Horizontaal model : toestand met pumping : berekende concentraties na 30 jaar

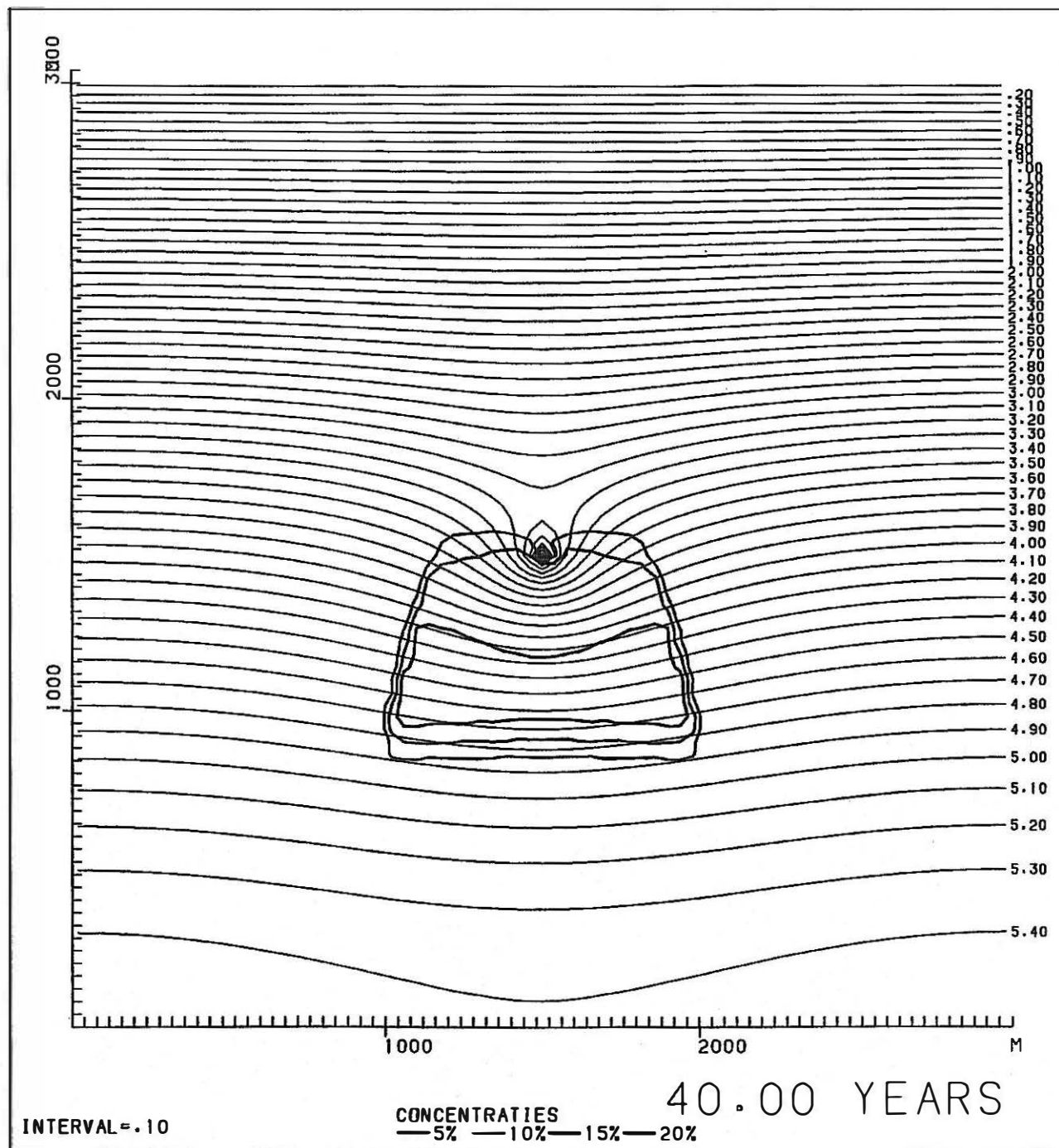


Fig. 22 - MOC : Horizontaal model : toestand met pumping : berekende concentraties na 40 jaar

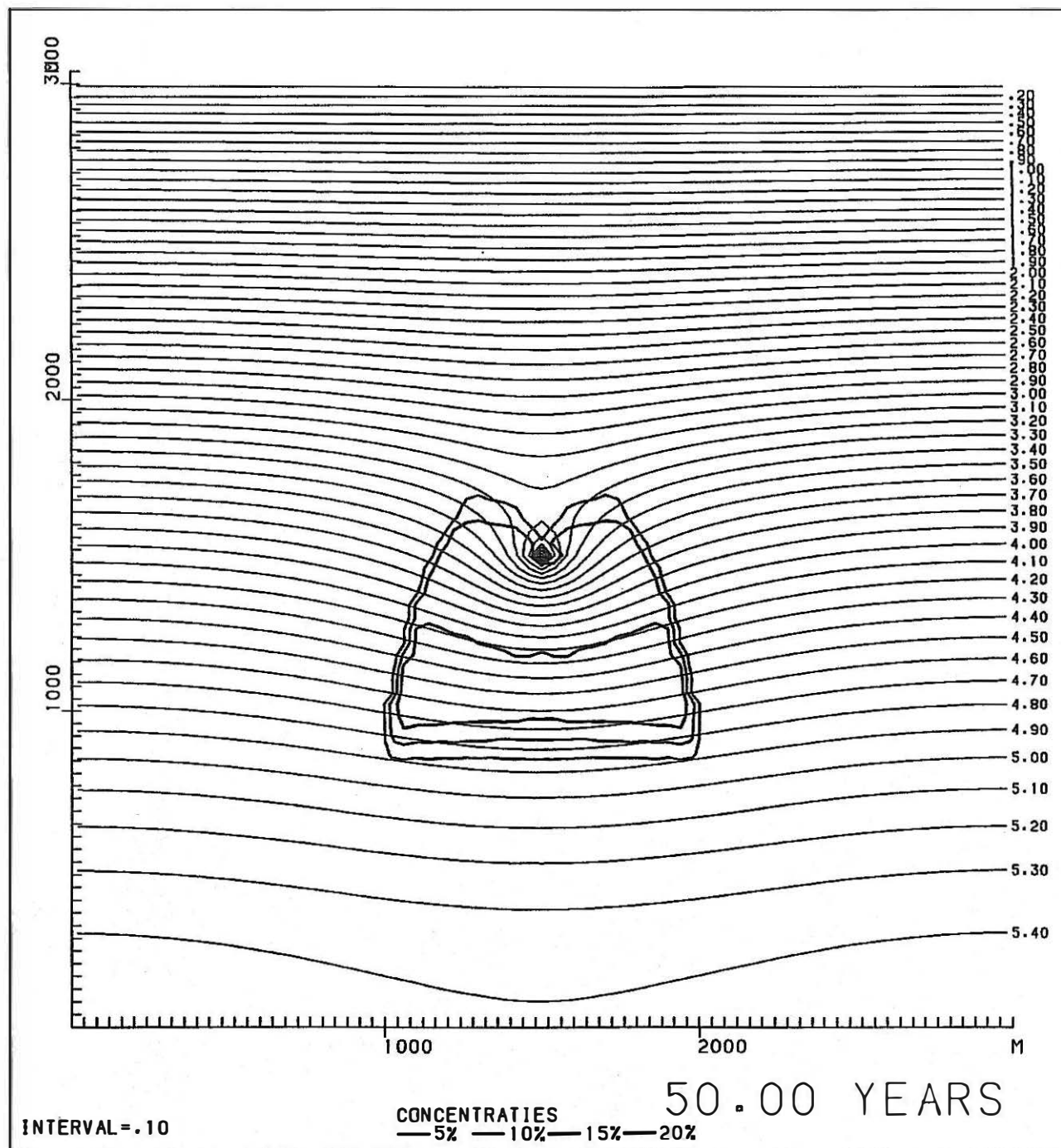


Fig. 23 - MOC : Horizontaal model : toestand met pumping : berekende concentraties na 50 jaar

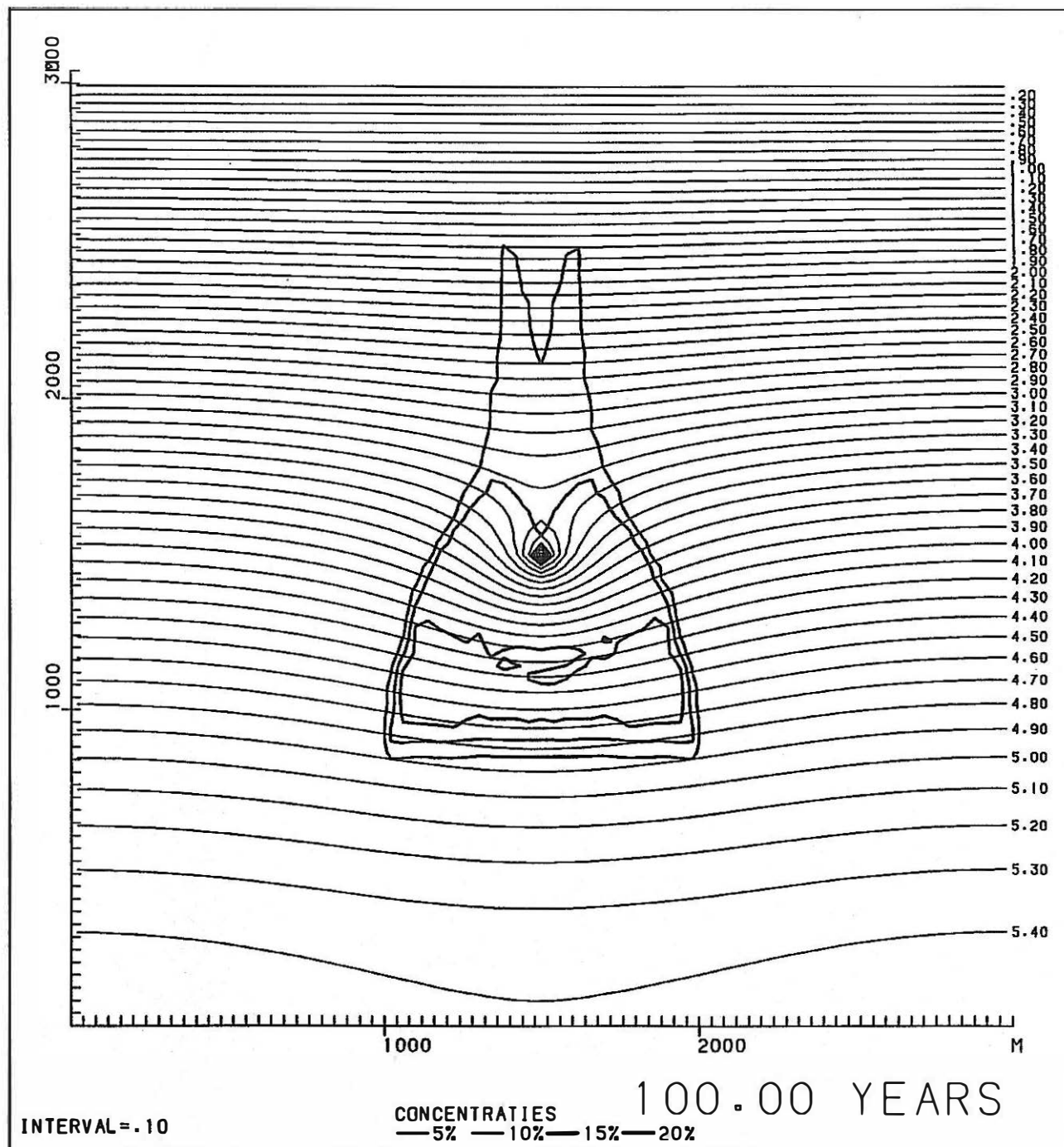


Fig. 24 - MOC : Horizontaal model : toestand met pumping : berekende concentraties na 100 jaar

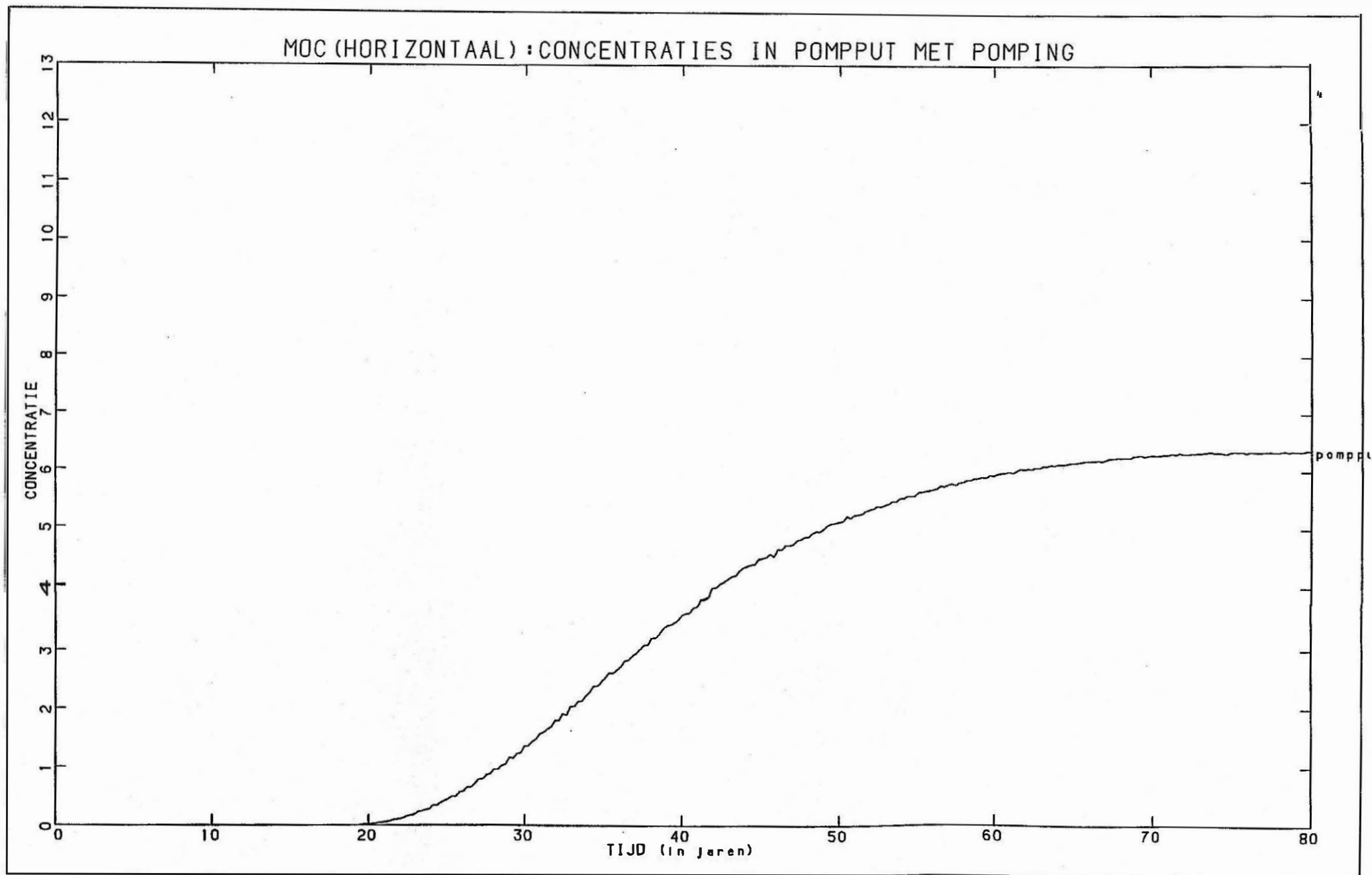


Fig. 25 - MOC : Horizontaal model : toestand met pumping : concentratieverloop in de pomput

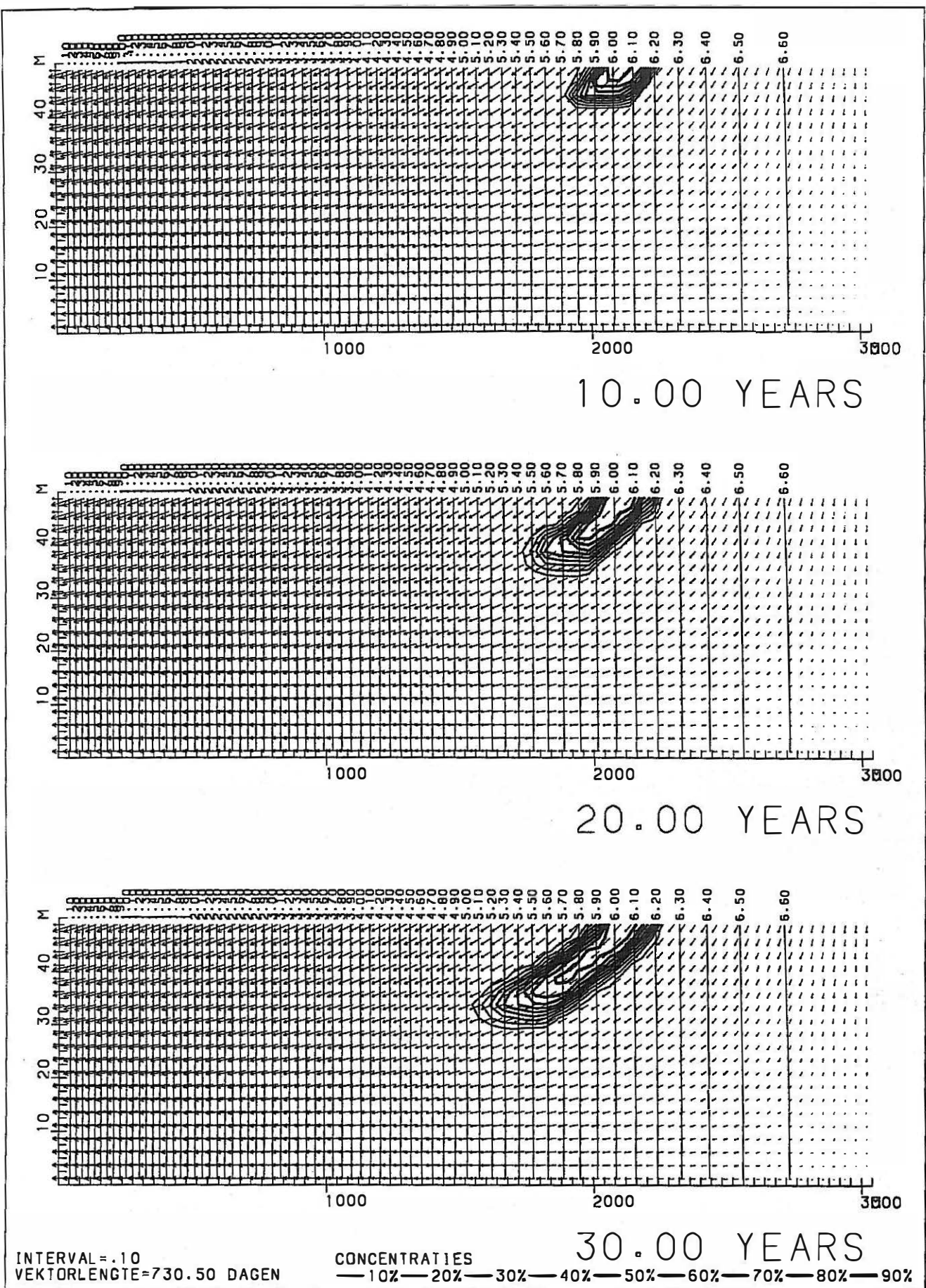


Fig. 26 - MOC : Vertikaal model : toestand zonder pumping : berekende concentraties na 10, 20 en 30 jaar

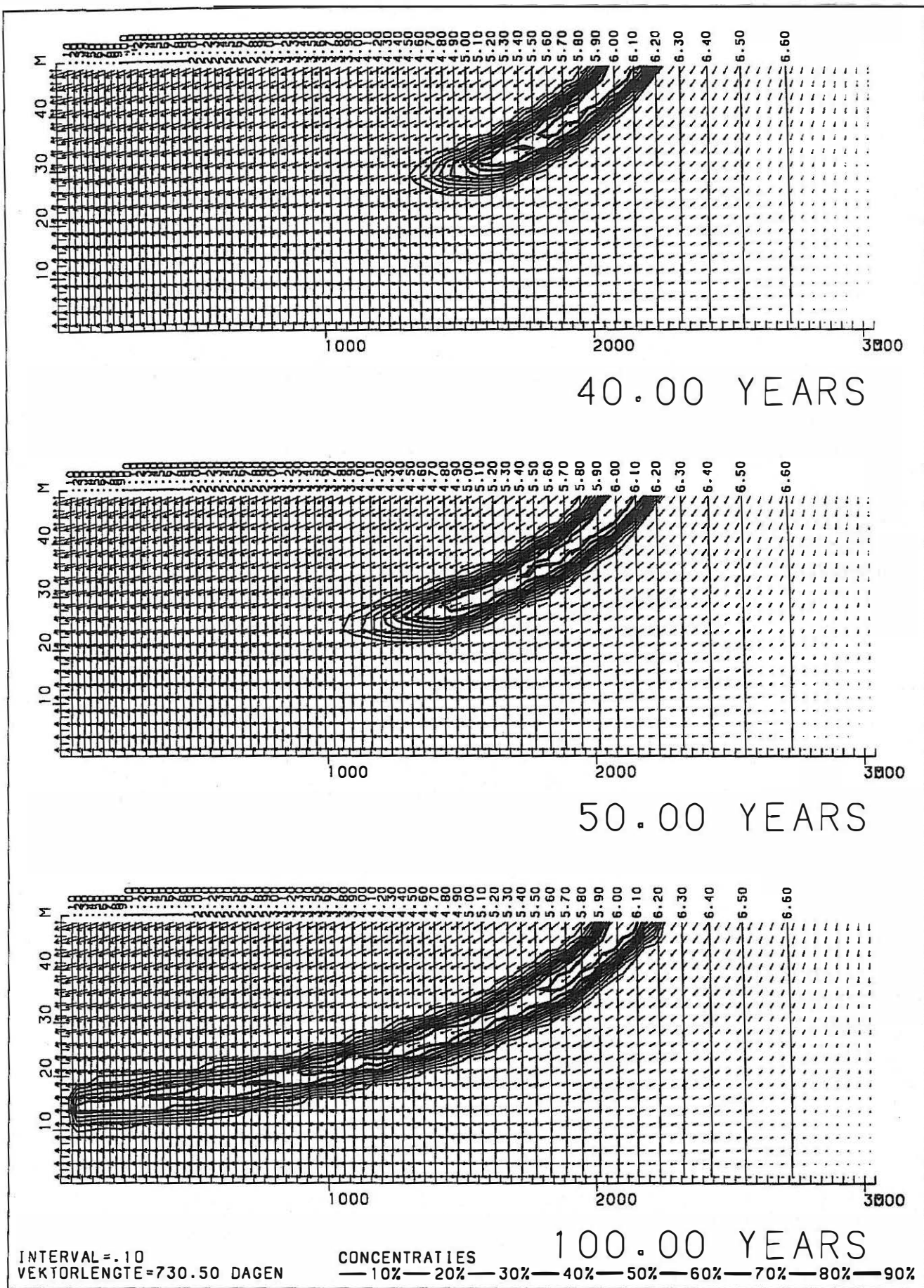


Fig. 27 - MOC : Vertikaal model : toestand zonder pumping : berekende concentraties na 40, 50 en 100 jaar

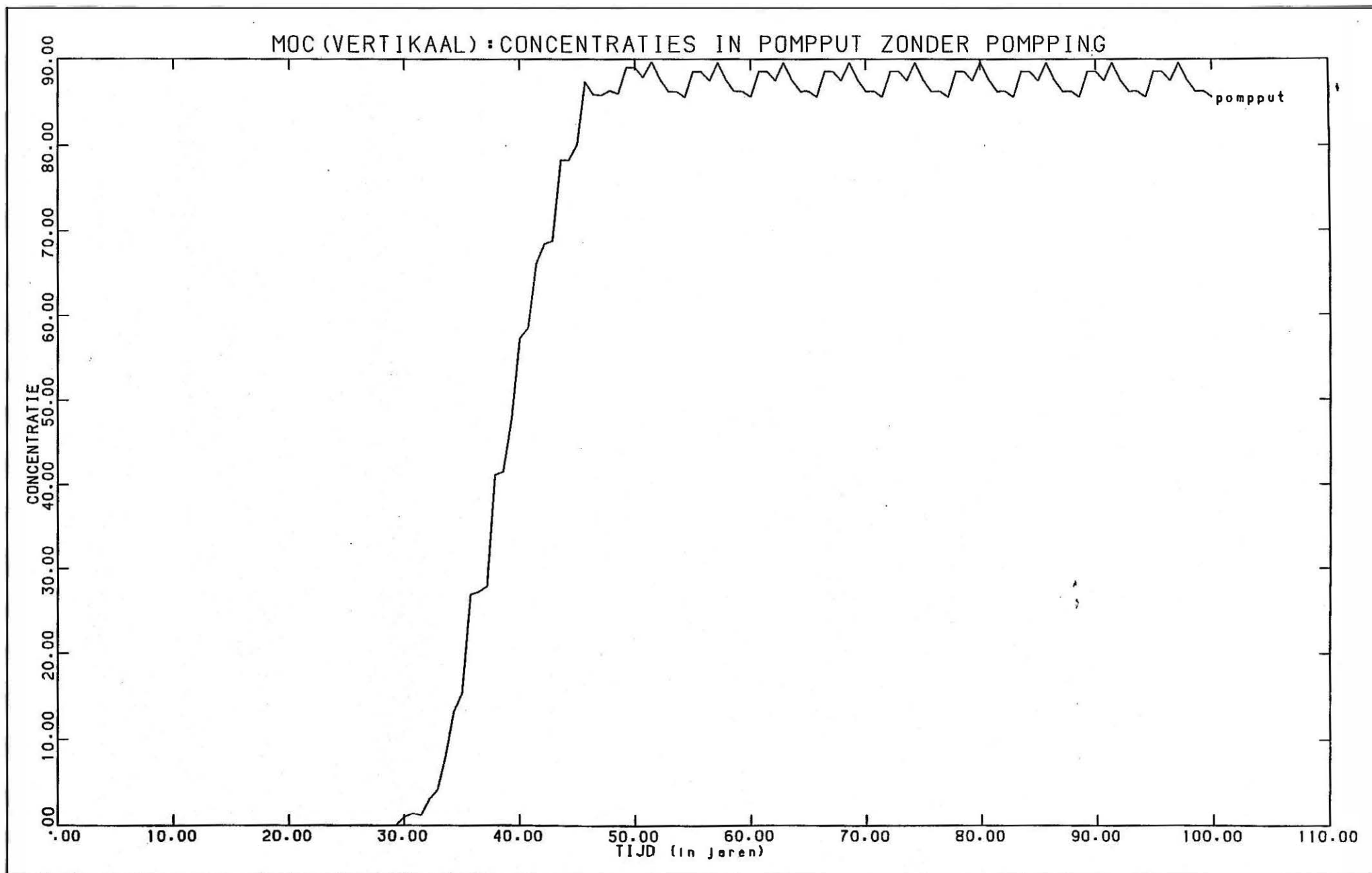


Fig. 28 - MOC : Vertikaal model : toestand zonder pumping : berekend concentratieverloop in de pompput

dit geval ongeveer 30 cm hoger dan berekend met het MODFLOW-model. De verontreiniging vormt een langwerpige pluim, vertrekkend vanaf de stortplaats die de noordrand tussen peilen -30 en -40 bereikt. Het antwoord op vraag 8 kan afgeleid worden uit fig 28. Uit de profielen blijkt dat de pompput, tussen -20 en -30 gelegen, slechts gedeeltelijk door de pluim gepasseerd wordt. Daarom zijn de concentraties nabij de onderkant van de filter vrij hoog (ca 90 eenheden), terwijl die nabij de bovenkant bijna nul zijn. Hier blijkt de waarnemingsput vanaf 30 jaar verhoogde concentraties te vertonen. Vanaf 50 jaar blijft deze constant maar zeer hoog (tussen 80 en 90%).

Het antwoord op vraag 7, gebaseerd op een vertikaal model met pumping, is voorgesteld op fig 29 en 30. Hier blijken de berekende stijghoogten sterk te verschillen van die van het MODFLOW-model. Nabij de zuidrand zijn ze ongeveer 1.70 m lager. In deze simulatie wordt de pluim met verontreinigd water volledig opgenomen door de pumping. Volgens deze berekening zal de verontreiniging de pompput niet passeren. Het antwoord op vraag 9, wordt voorgesteld op fig 31. Hier wordt het concentratieverloop voor de bovenkant van de pompput voorgesteld. Opmerkelijk zijn de sterke maar regelmatige sprongen in het verloop. Deze worden veroorzaakt door het hergenereren van deeltjes in het mathematisch model, en hangt dus samen met de gebruikte numerieke methode en niet met de werkelijke stroming in het reservoir. De concentratie in de pompput stijgt vanaf 25 jaar, en stabiliseert rond 40 jaar. De concentratie bedraagt dan ongeveer 25%.

4.3.5 Resultaten van het programma MT3D

4.3.5.1 Ingevoerde gegevens

Het MT3D-model gebruikte volledig dezelfde schematisering (laagindeling en netwerk) als het MODFLOW-model. Er wordt een waterdoorlatende porositeit van 0.38 ingevoerd. Het model vertrekt van de berekende stromingsdebieten met MODFLOW. Er werd een tijdsevolutie van 100 jaar berekend. Deze periode werd opgebroken in 10 tijdstappen van elk 10 jaar. Elke tijdstap wordt op zijn beurt opgedeeld in een aantal bewegingen van de waterdeeltjes die door het model gevolgd worden. De lengte van deze bewegingen wordt door het programma zelf gekozen op basis van de grondwatersnelheden.

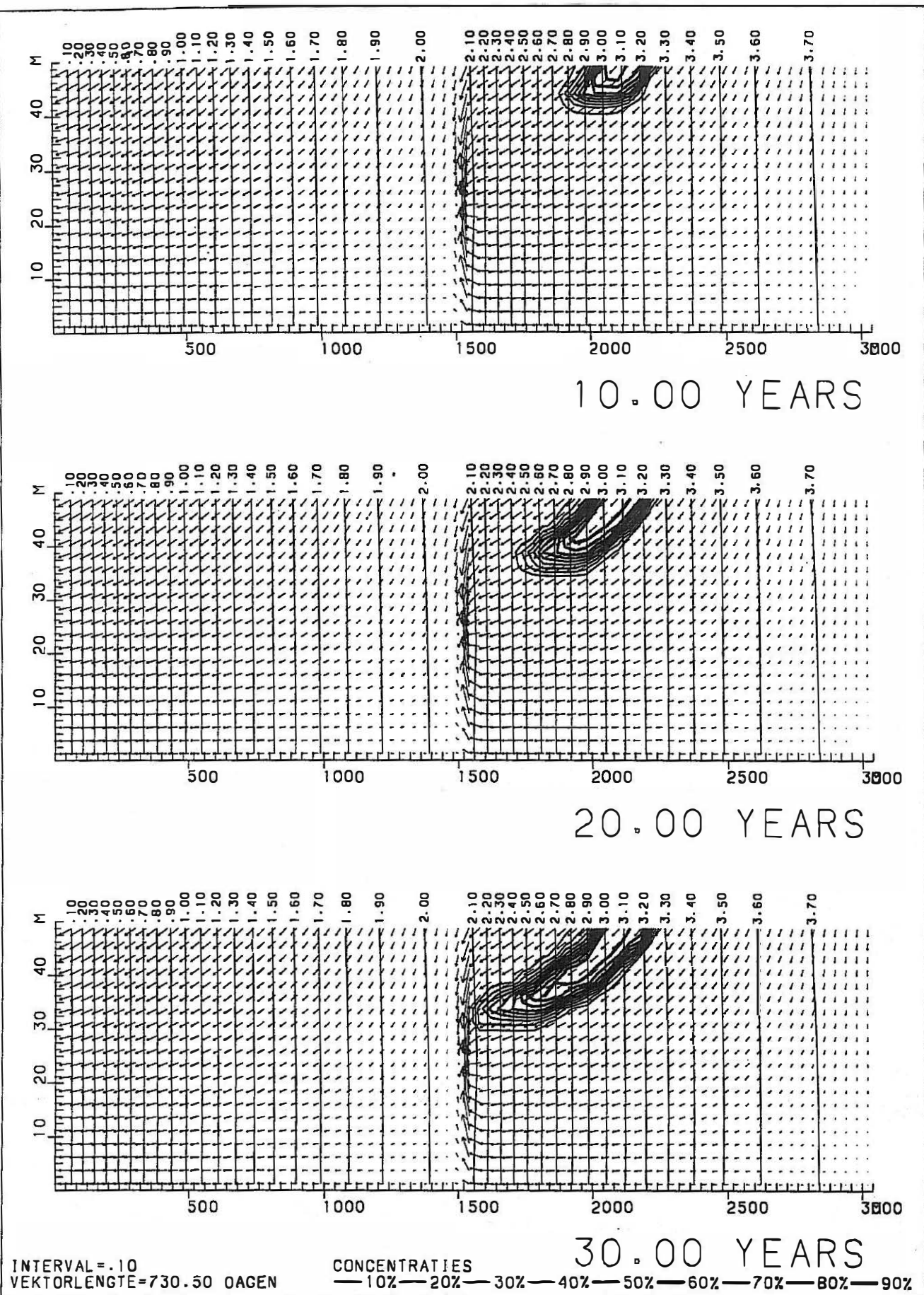


Fig. 29 - MOC : Vertikaal model : toestand met pumping : berekende concentraties na 10, 20 en 30 jaar

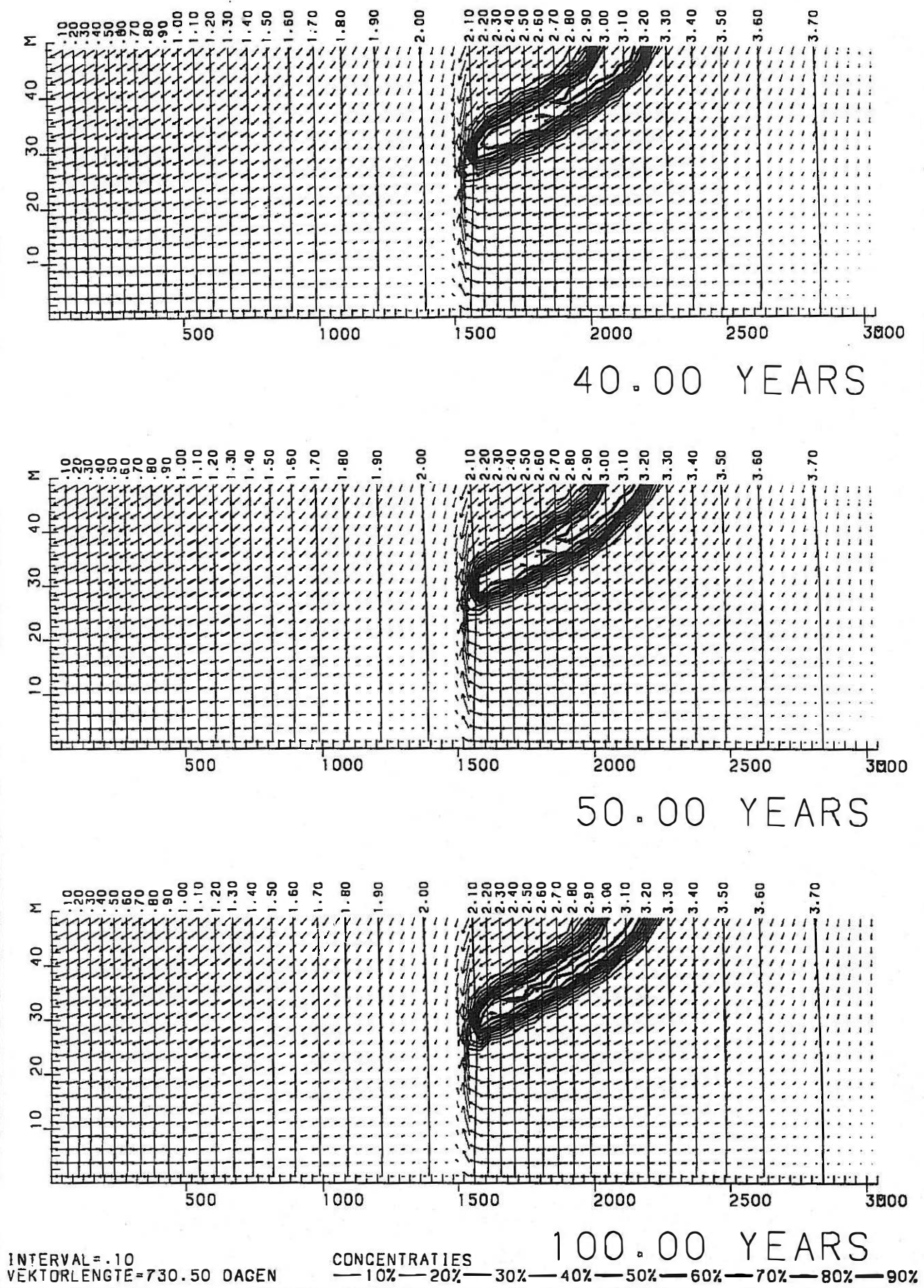


Fig. 30 - MOC : Vertikaal model : toestand met pumping : berekende concentraties na 40, 50 en 100 jaar

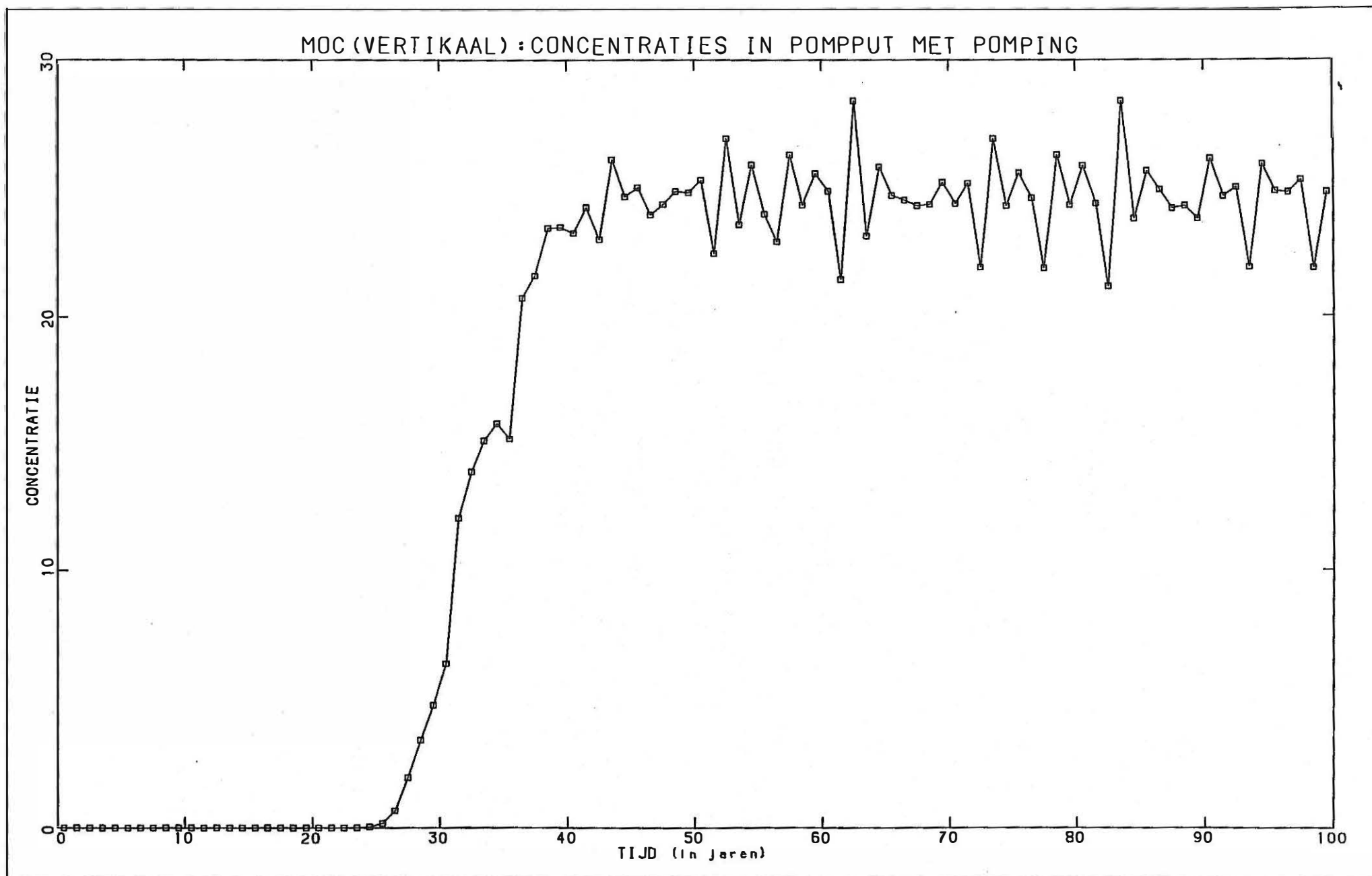


Fig. 31 - MOC : Vertikaal model : toestand met pomping : berekend concentratieverloop in de pompput

4.5.5.2 Resultaten

Met het MT3D-model kunnen de vragen 6 , 7 , 8 en 9 beantwoord worden.

Resultaten van een 3 dimensionaal model kunnen best worden voorgesteld door de berekende concentraties te projekteren in een 2 dimensioneel vlak. Dit wil zeggen dat de resultaten worden gevisualiseerd per laag of door profielen te tekenen volgens rijen of kolommen door het netwerk. Nadeel is dat het aantal mogelijke figuren dat nodig is om de preciese uitbreiding van de verontreiniging weer te geven zeer groot wordt. Het antwoord op de vragen moet dus verkregen worden door combinatie van enkele figuren.

Eerst worden de resultaten voorgesteld volgens een profiel dat vanaf de zuidrand , doorheen de pompput , naar de noordrand loopt. Het valt samen met het profiel van het vertikaal MOC-model waardoor de resultaten van beide modellen gemakkelijk kunnen vergeleken worden. Deze profielen geven een beeld van de verticale verspreiding van de verontreiniging. Ze werden getekend voor de toestand na 10 , 20 , 30 , 40 , 50 en 100 jaar.

Vervolgens werd de concentratieverdeling in enkele lagen voorgesteld. Deze geven een beeld van de laterale verspreiding van de verontreiniging. Aangezien het model uit 10 lagen bestaat zou het voorstellen van de resultaten voor verschillende tijdstappen (te) veel figuren opleveren. Daarom werden enkel de berekende concentraties na 50 jaar voorgesteld.

Op de vraag 6 kan geantwoord worden met de figuren 32 , 33 en fig 36 t.e.m. 41. Op de verticale doorsneden (fig 32 en 33) is te zien hoe de verontreigingspluim zich vanaf de stortplaats naar de noordgrens verplaatst. Opmerkelijk verschil met het vertikaal MOC-model is , dat er hier een ondiepe (bovenste lagen) stroomafwaartse verplaatsing gebeurt , waardoor de pluim nabij de watertafel breder is. In de pluim zelf komen cellen voor waar de concentratie hoger is dan in de omringende cellen , waardoor er meer verontreinigde “eilandjes” in de pluim ontstaan. De oorzaak van dit laatste is waarschijnlijk numerische dispersie in de gebruikte oplossingsmethode. Uit de fig 36 t.e.m. 41 is af te leiden hoe de pluim zich in de verschillende lagen heeft uitgebreid , en zich noordwaarts dieper in het reservoir bevindt.

Op vraag 7 kan geantwoord worden met de fig 34 en 35 en 42 t.e.m.47. Op fig 34 en 35 staat

de berekende concentratieverdeling volgens het noord-zuid profiel. Op de toestand na 100 jaar is te zien dat de verontreiniging voorbij de pompput geraakt. Op fig 42 t.e.m.47 is te zien dat de pluim dicht bij de pompput zich dieper in het reservoir bevindt , en dat er langs beide zijden van de pompput twee laterale pluimen ontwikkelen die verder naar de noordrand stromen.

Op vraag 8 kan geantwoord worden met fig 48. Hierop staat de evolutie van de concentratie in de waarnemingsput voorgesteld. Na iets minder dan 30 jaar begint de concentratie te stijgen , na ongeveer 40 jaar stabiliseert deze rond 40%.

Op vraag 9 kan geantwoord worden met fig 49. Hierop is te zien dat reeds na ongeveer 10 jaar verontreiniging in de pompput wordt gevonden. Na iets meer dan 20 jaar stabiliseert de concentratie zich rond 12 tot 13%.

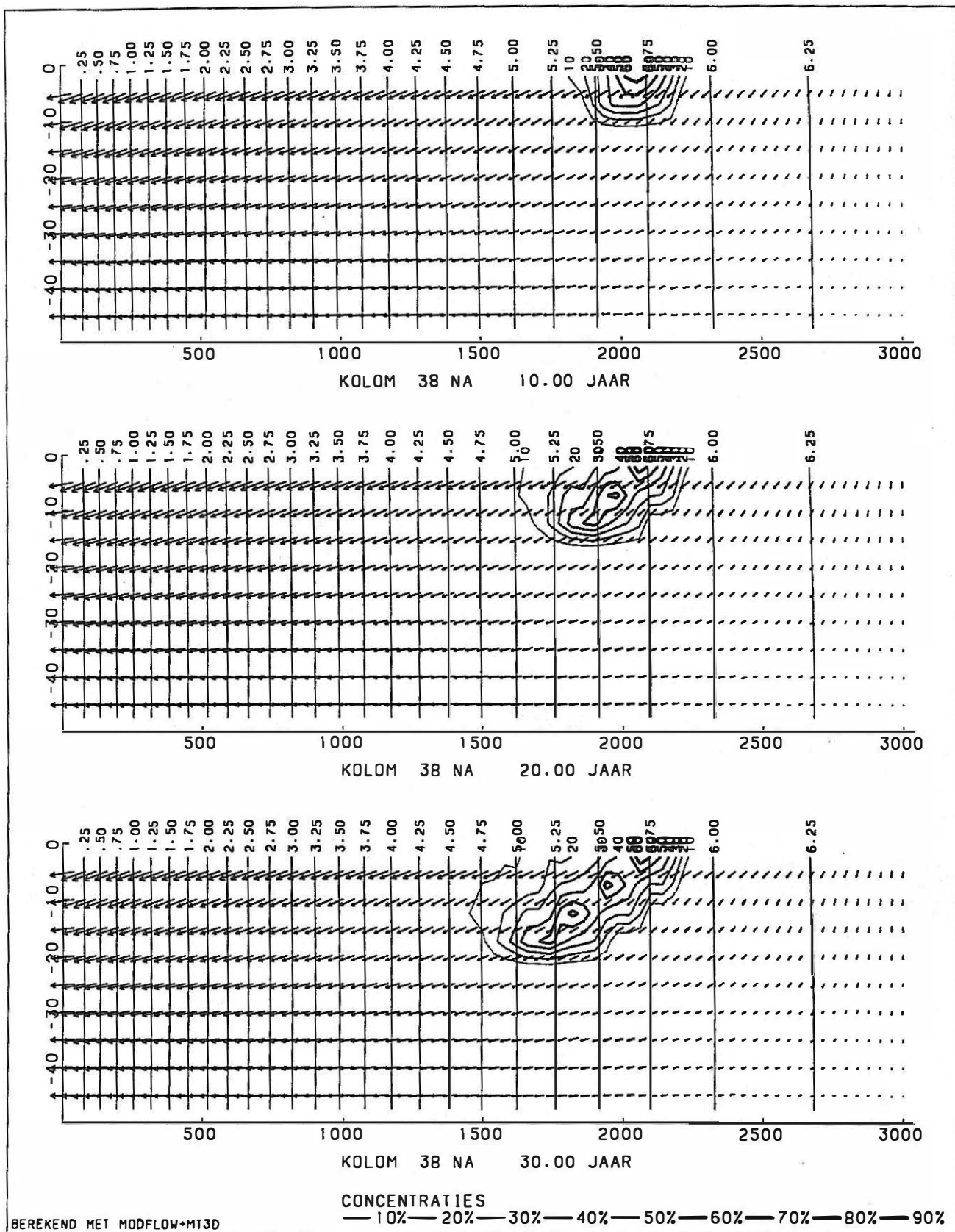


Fig. 32 - MT3D : Toestand zonder pomping : berekende concentraties in kolom 38 na 10, 20 en 30 jaar

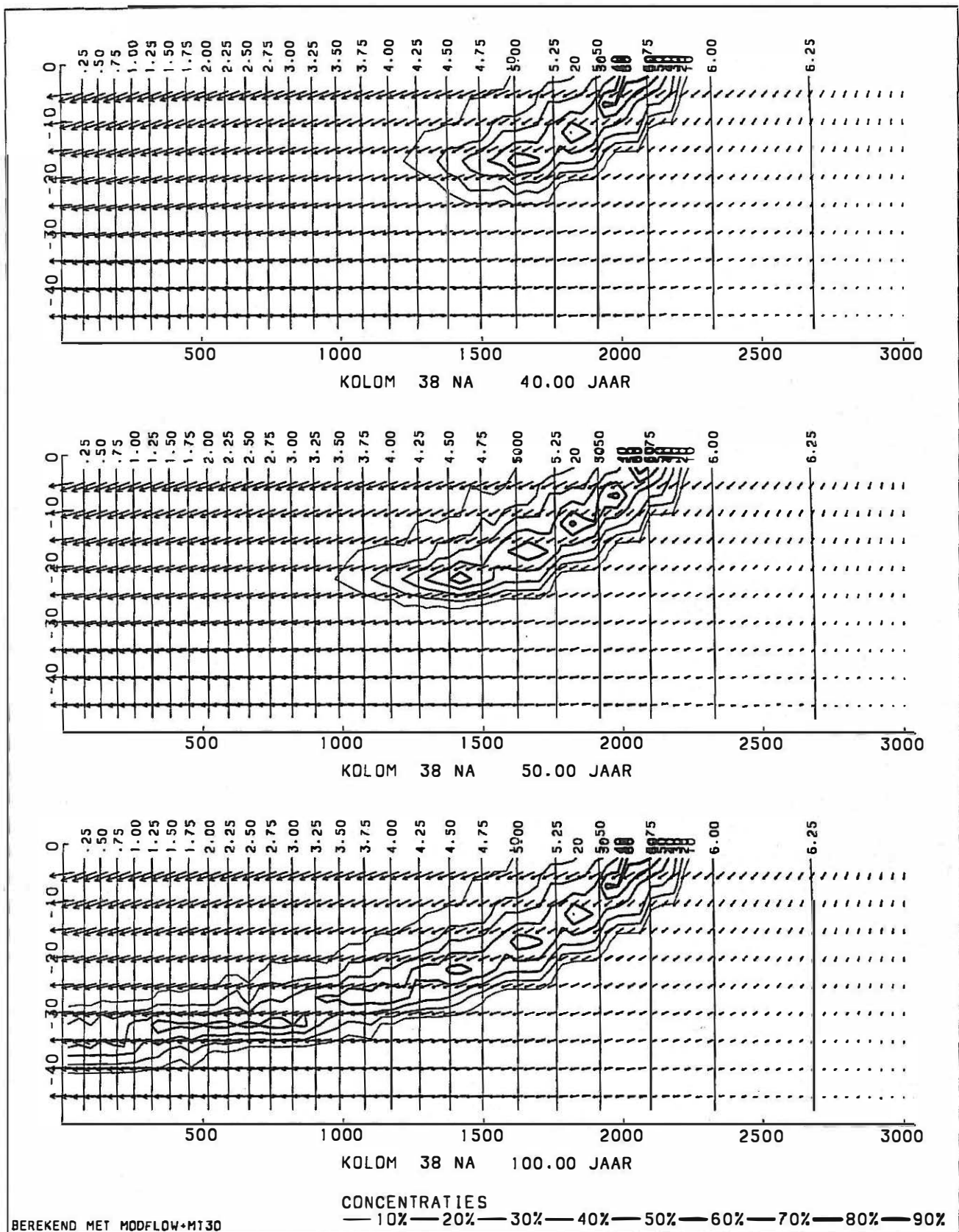
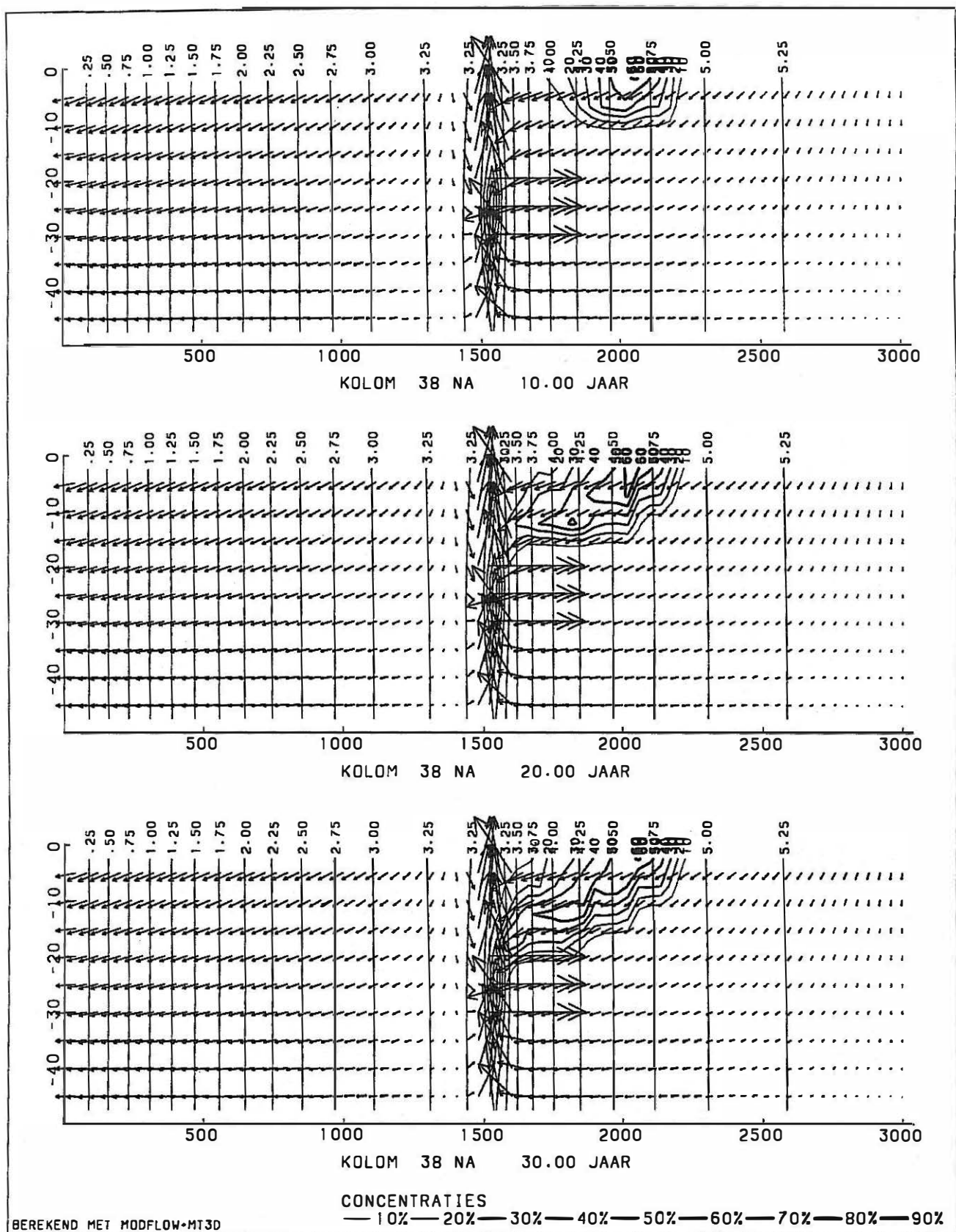
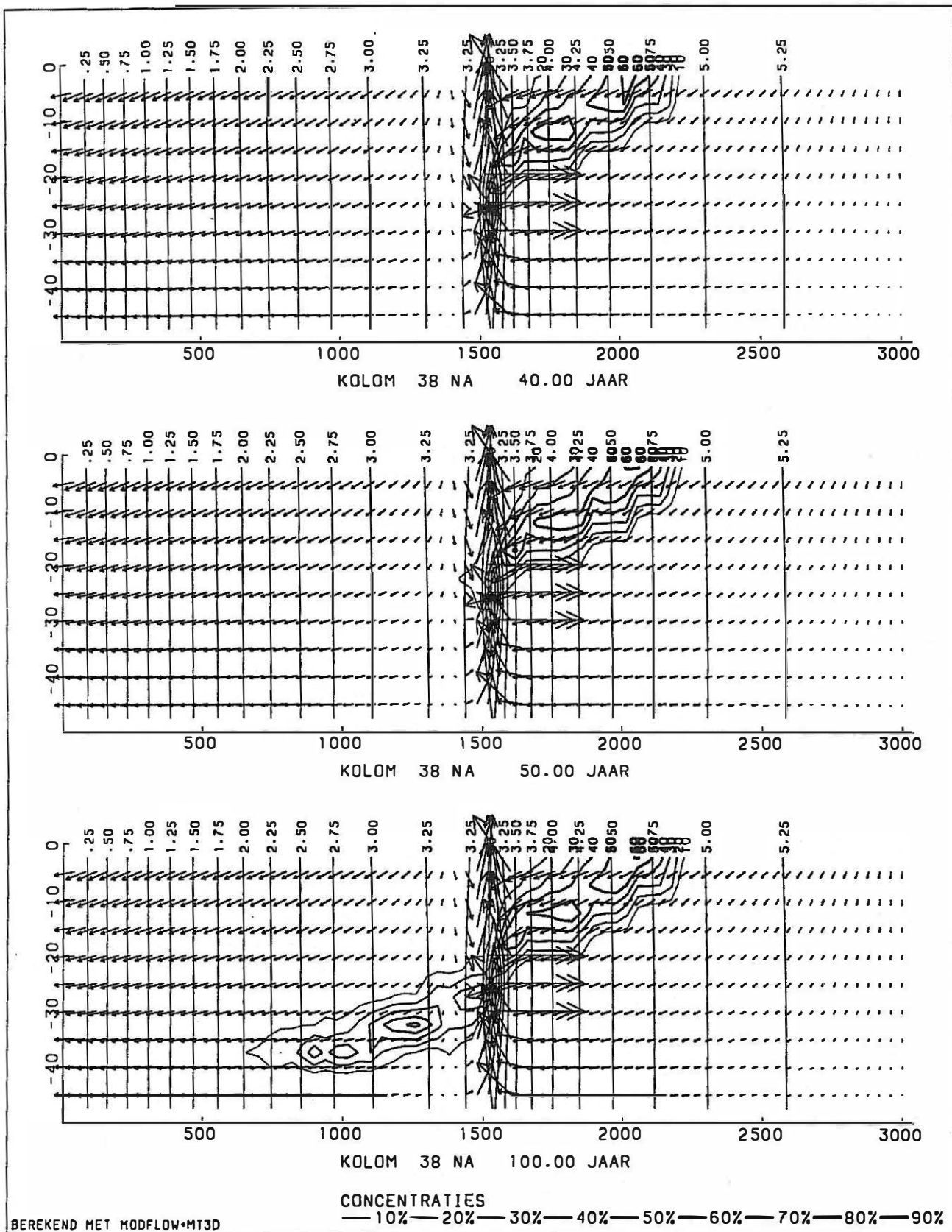


Fig. 33 - MT3D : Toestand zonder pumping : berekende concentraties in kolom 38 na 40, 50 en 100 jaar



**Fig. 34 - MT3D : Toestand met pumping : berekende concentraties
in kolom 38 na 40, 50 en 100 jaar**



**Fig. 35 - MT3D : Toestand met pumping : berekende concentraties
in kolom 38 na 10, 20 en 30 jaar**

Fig. 36 - MT3D : Toestand zonder pumping : berekende concentraties
in laag 1 na 50 jaar

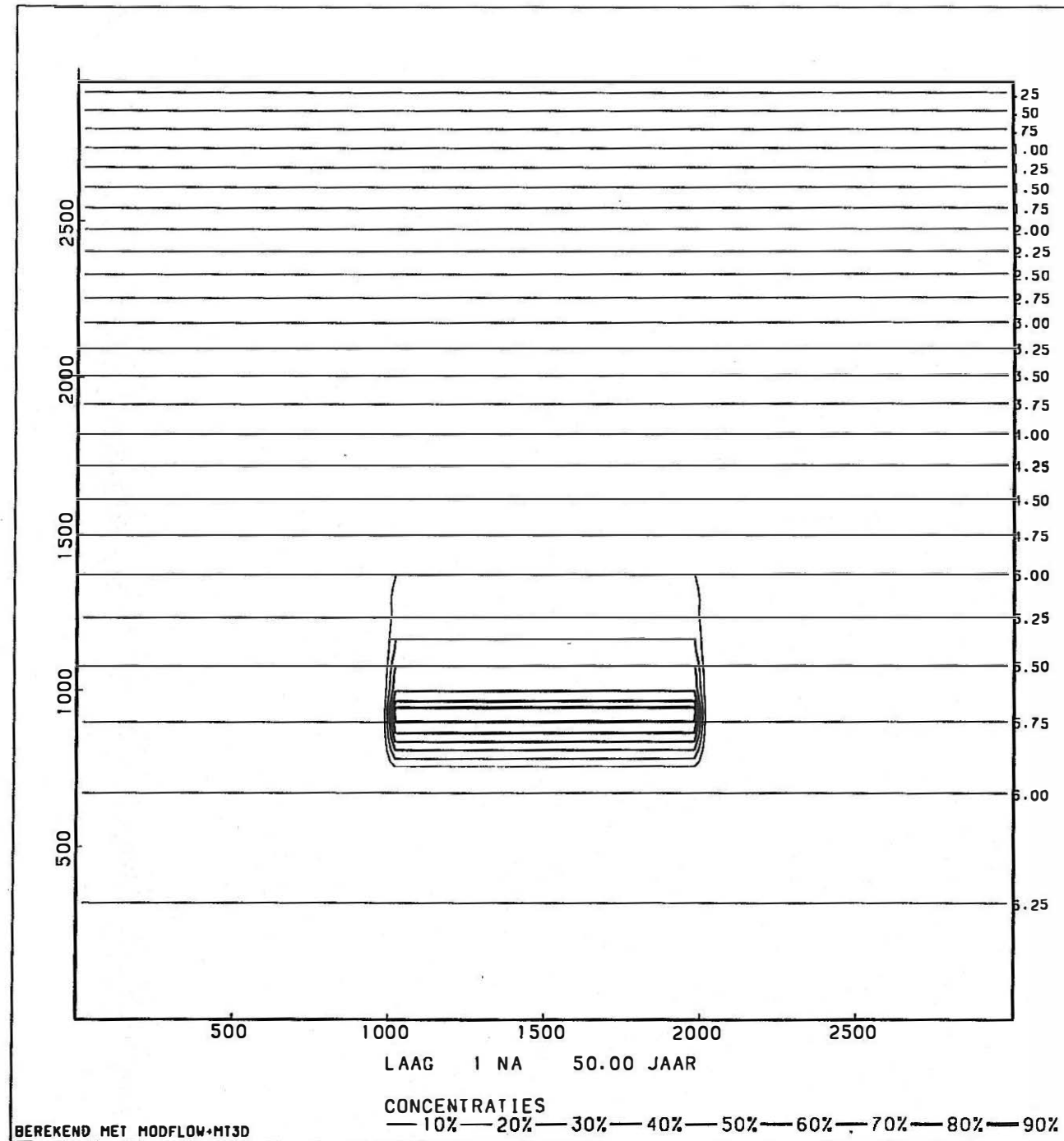


Fig. 37 - MT3D : Toestand zonder pumping : berekende concentraties
in laag 2 na 50 jaar

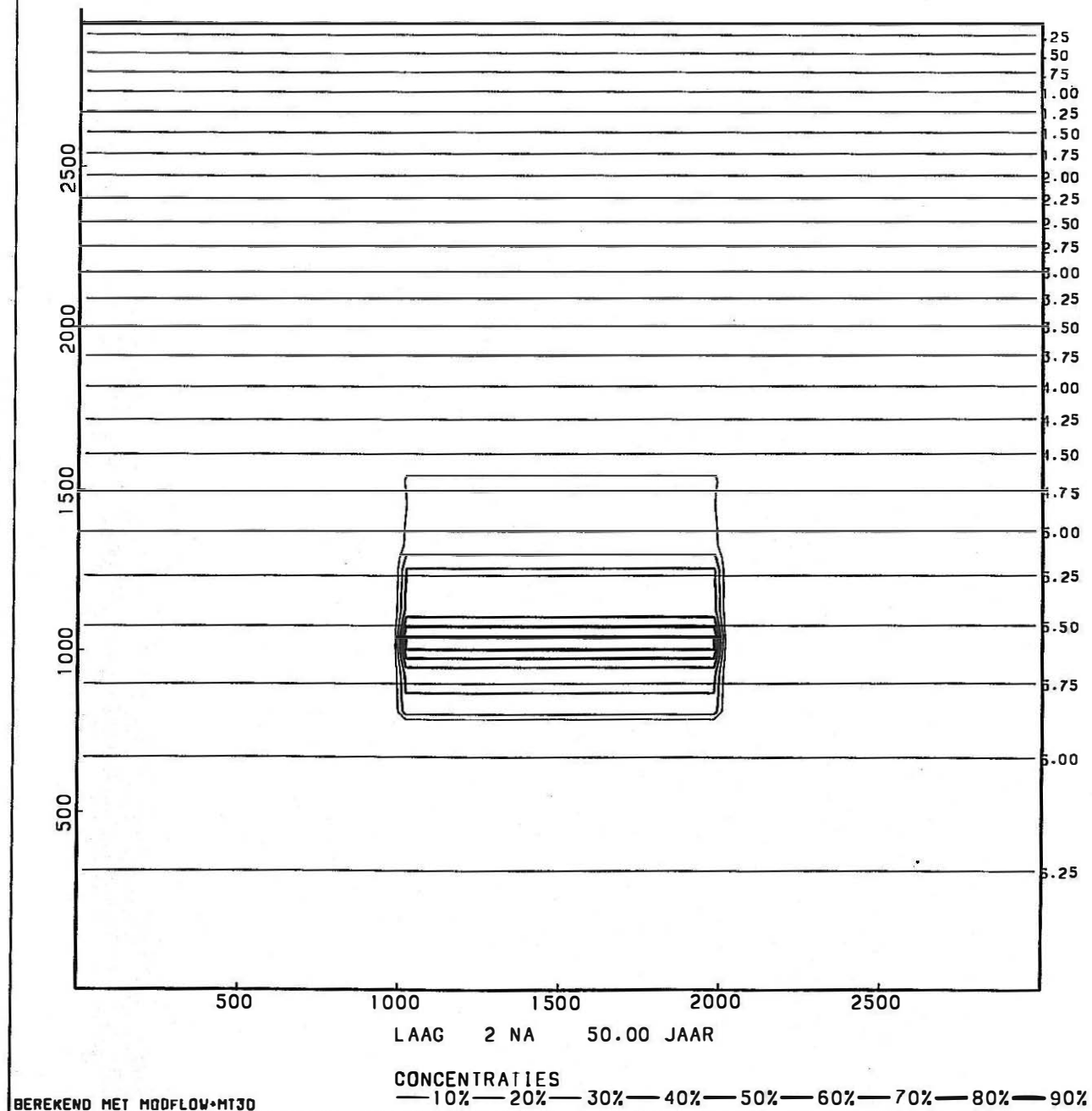


Fig. 38 - MT3D : Toestand zonder pumping : berekende concentraties
in laag 3 na 50 jaar

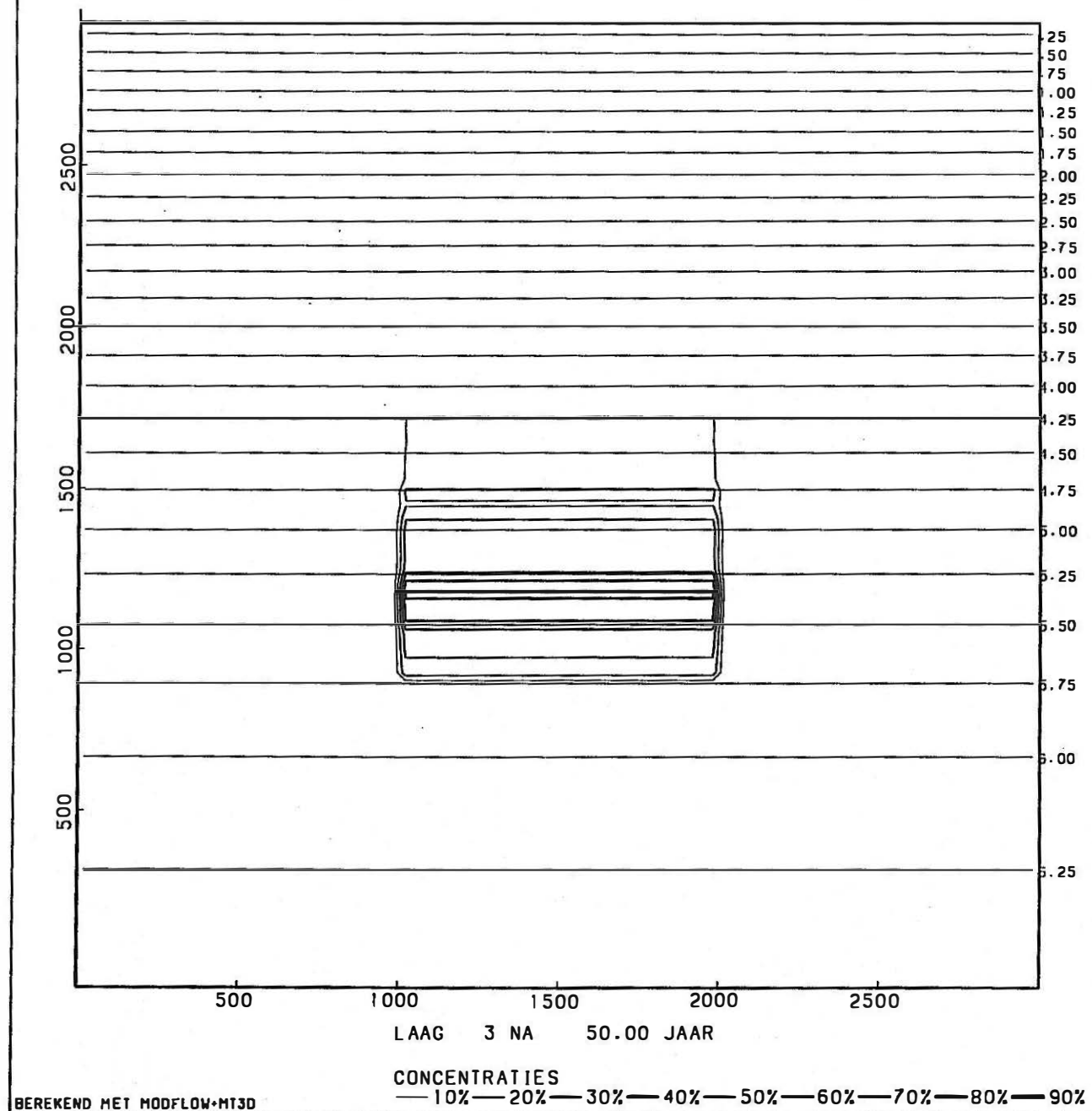


Fig. 39 - MT3D : Toestand zonder pumping : berekende concentraties
in laag 4 na 50 jaar

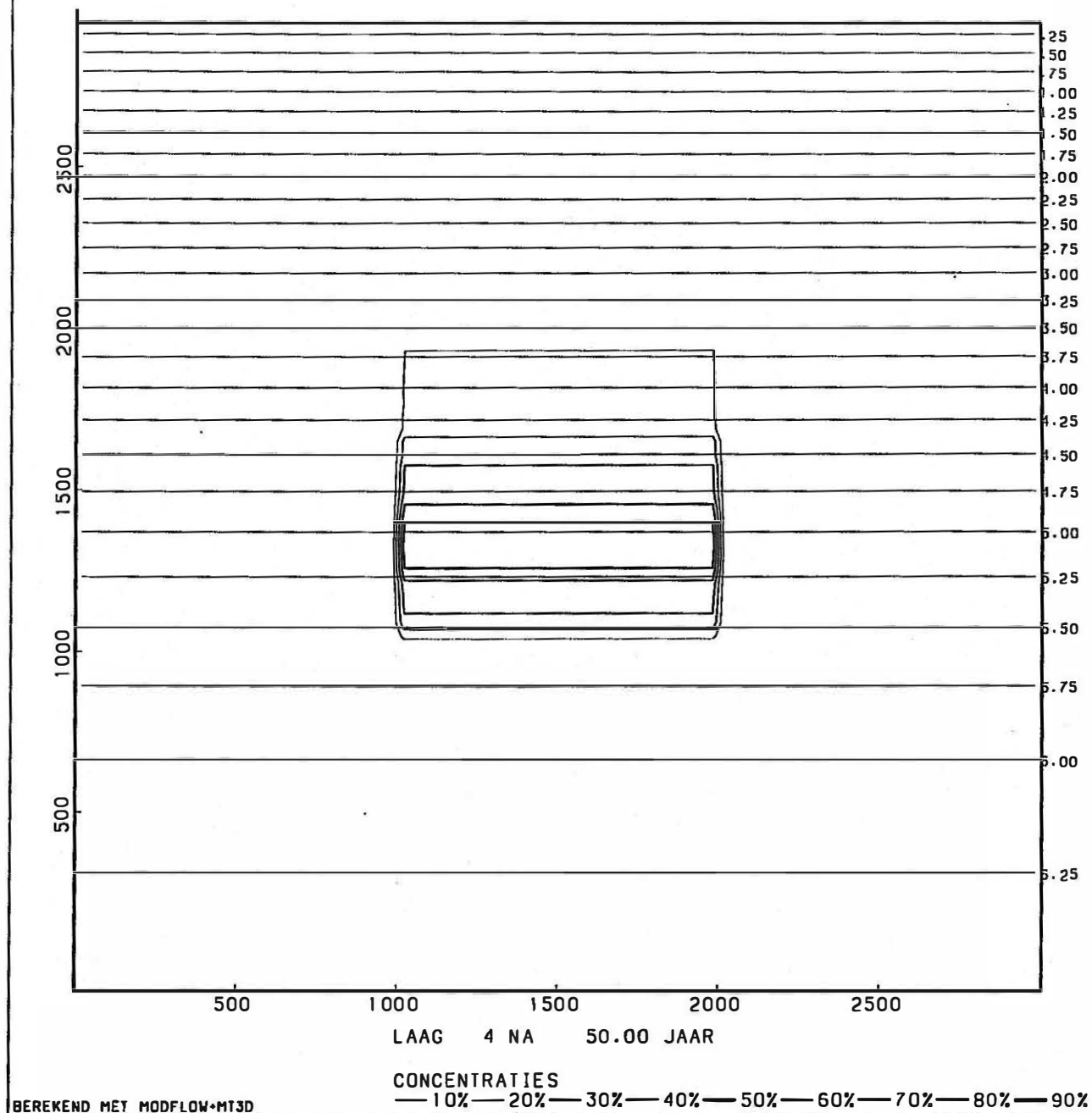


Fig. 40 - MT3D : Toestand zonder pumping : berekende concentraties
in laag 5 na 50 jaar

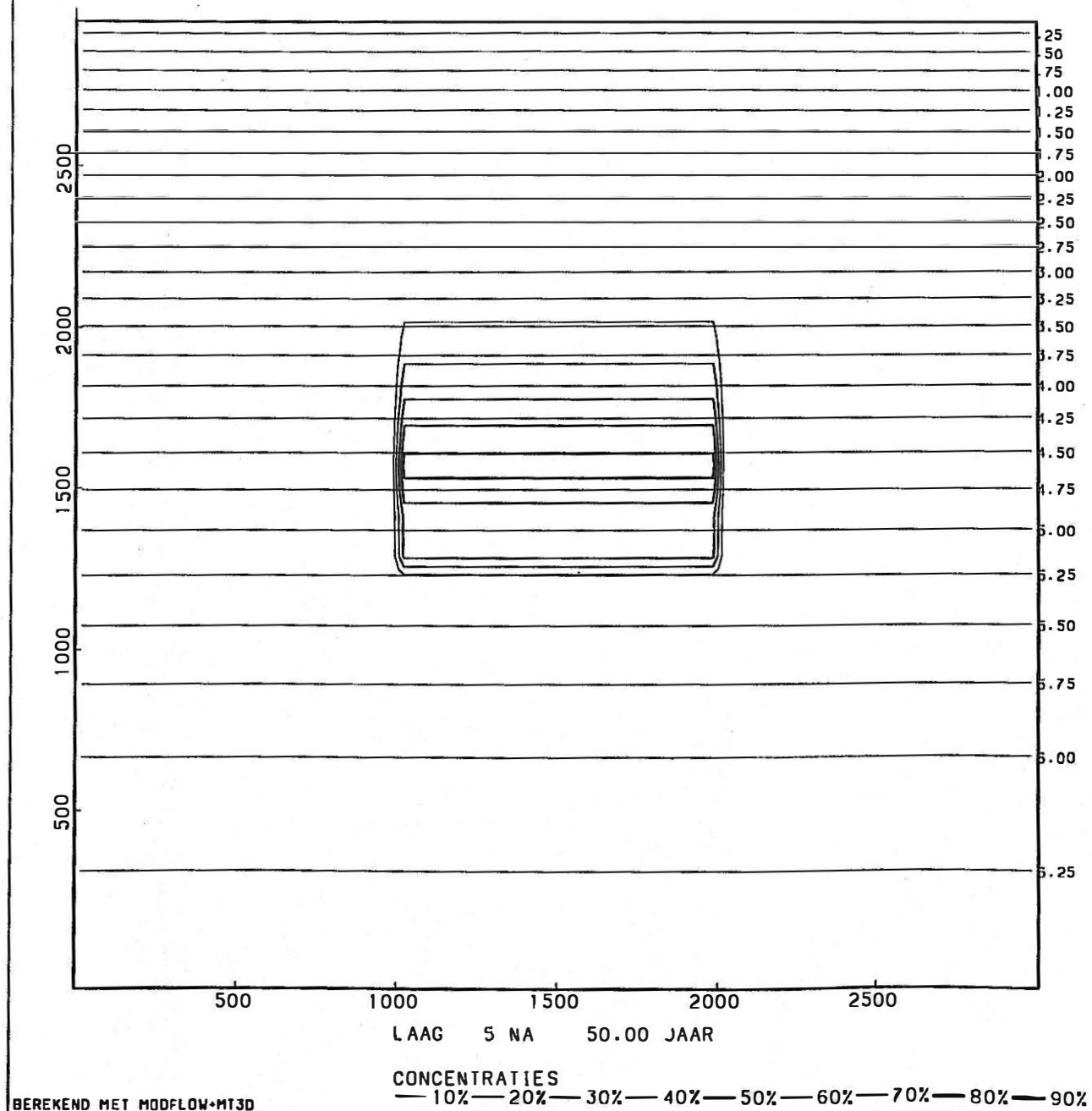


Fig. 41 - MT3D : Toestand zonder pumping : berekende concentraties
in laag 6 na 50 jaar

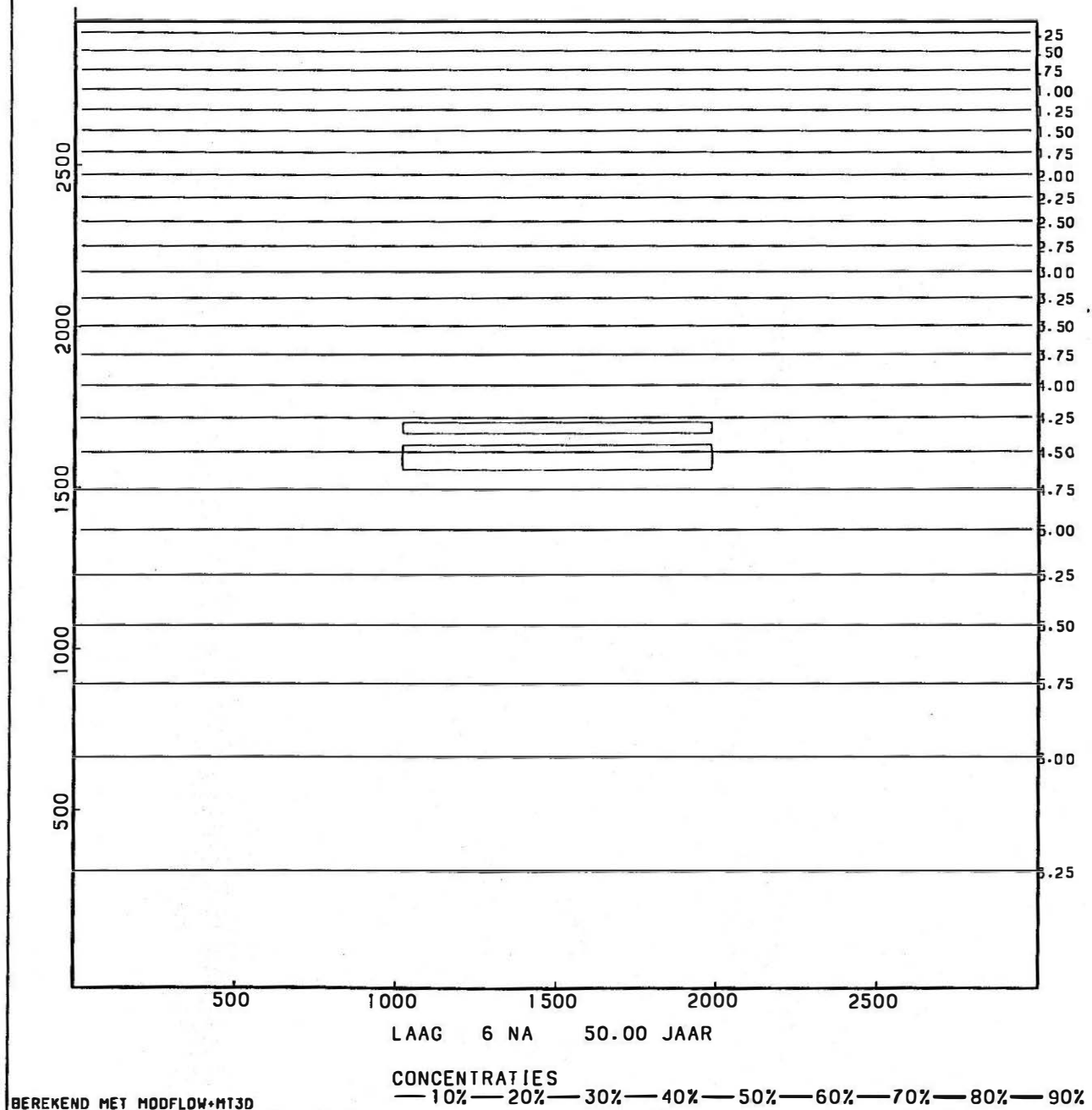


Fig. 42 - MT3D : Toestand met pumping : berekende concentraties
in laag 1 na 50 jaar

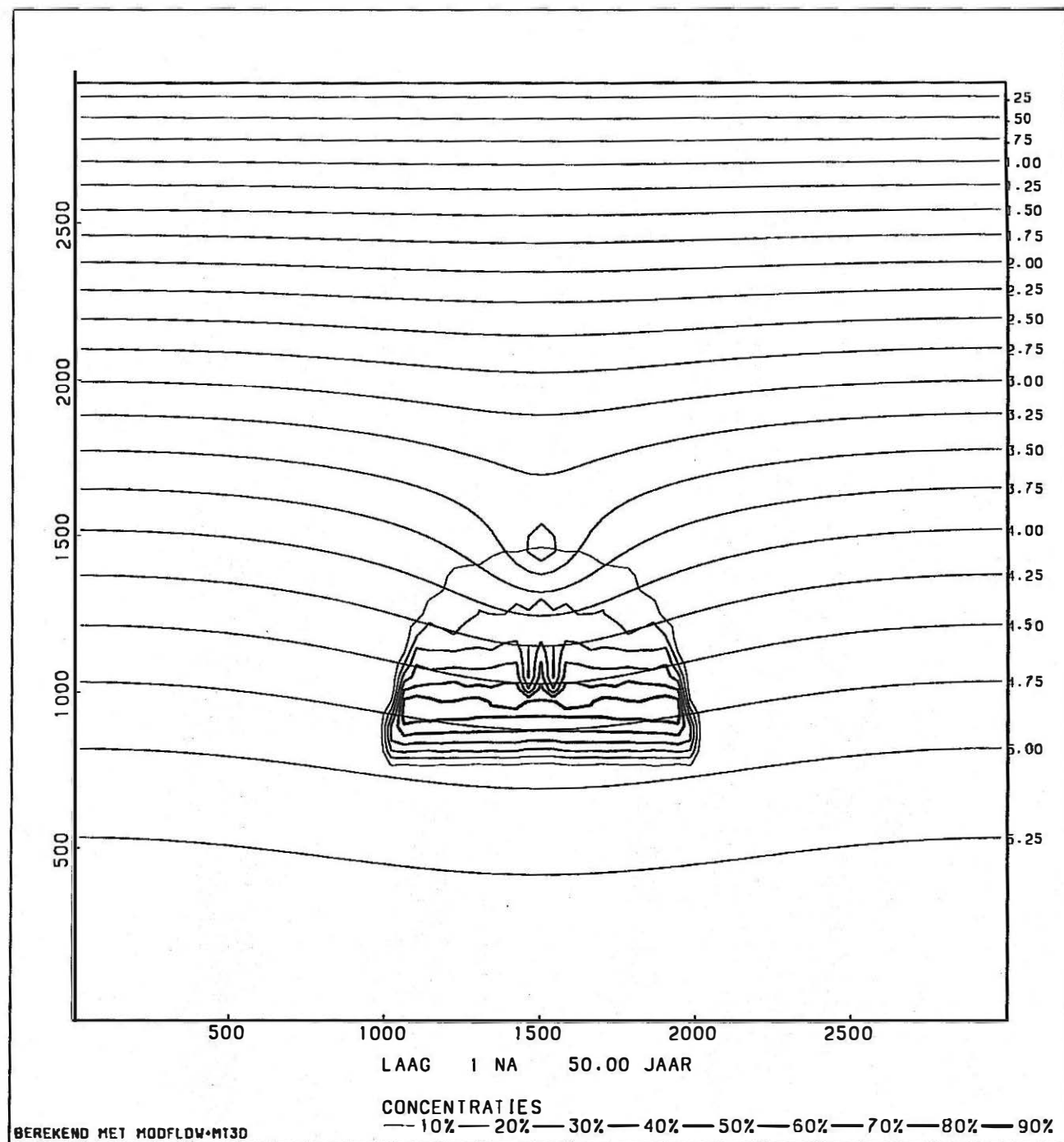


Fig. 43 - MT3D : Toestand met pumping : berekende concentraties
in laag 2 na 50 jaar

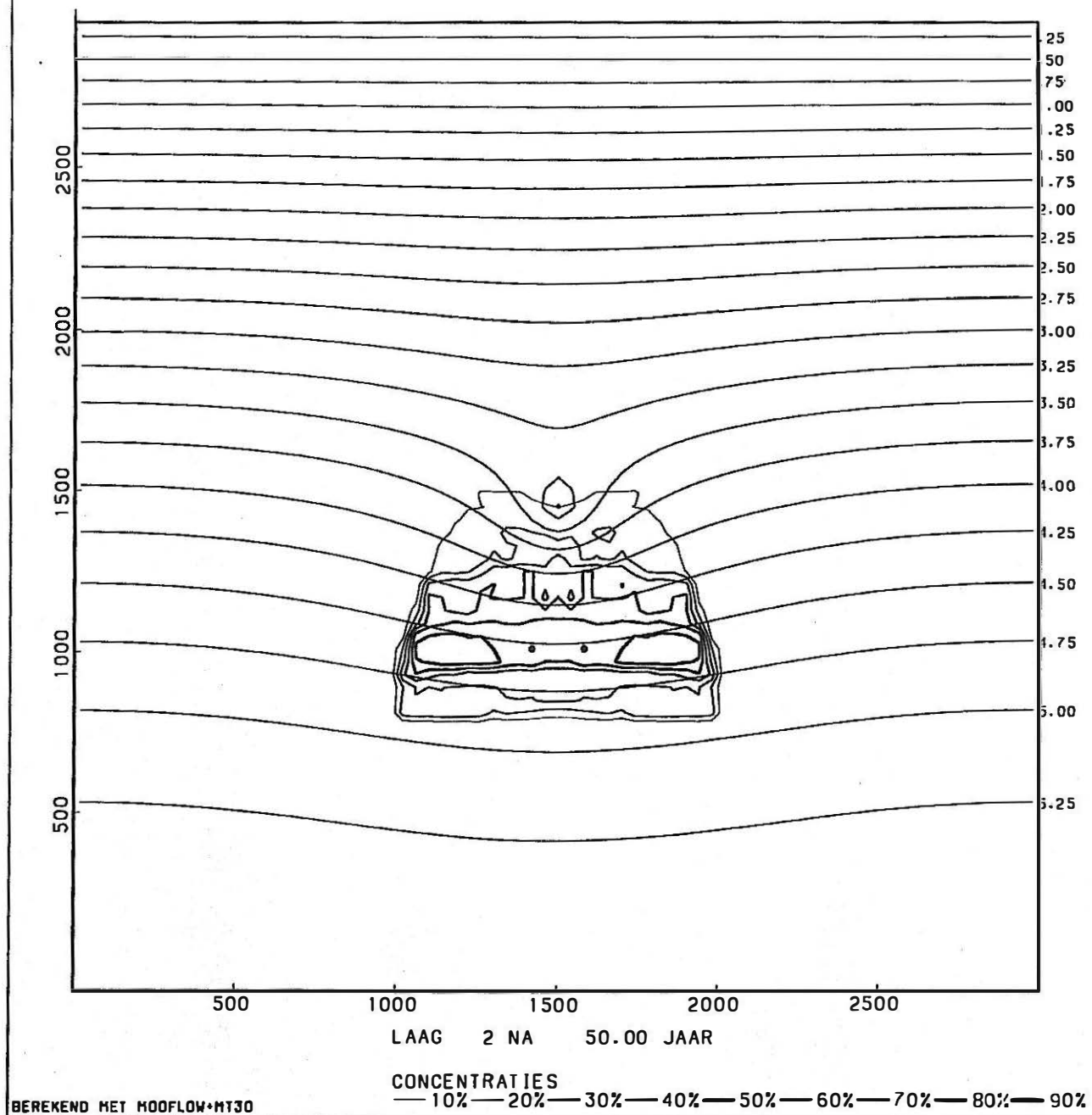


Fig. 44 - MT3D : Toestand met pumping : berekende concentraties
in laag 3 na 50 jaar

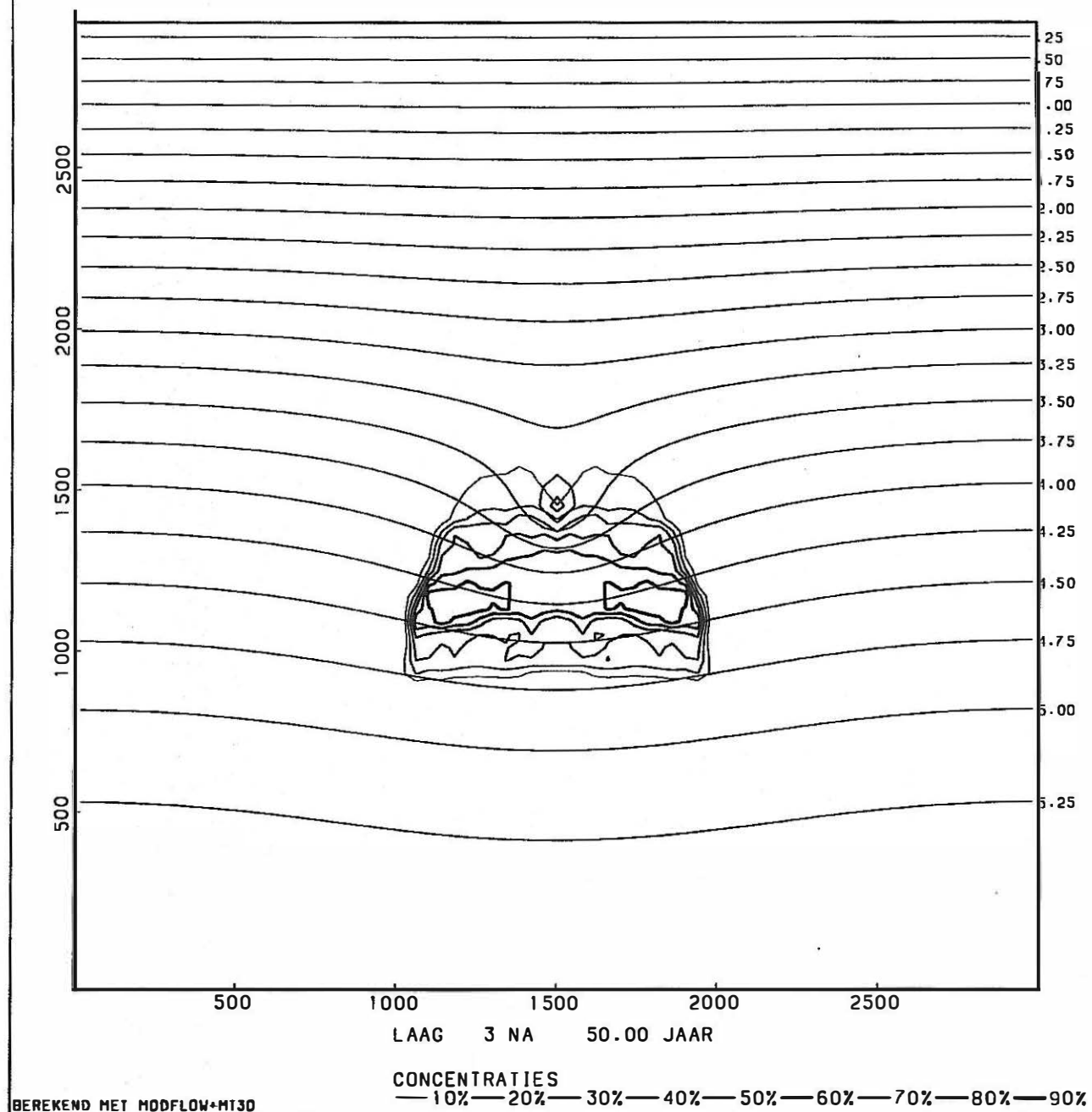


Fig. 45 - MT3D : Toestand met pomping : berekende concentraties
in laag 4 na 50 jaar

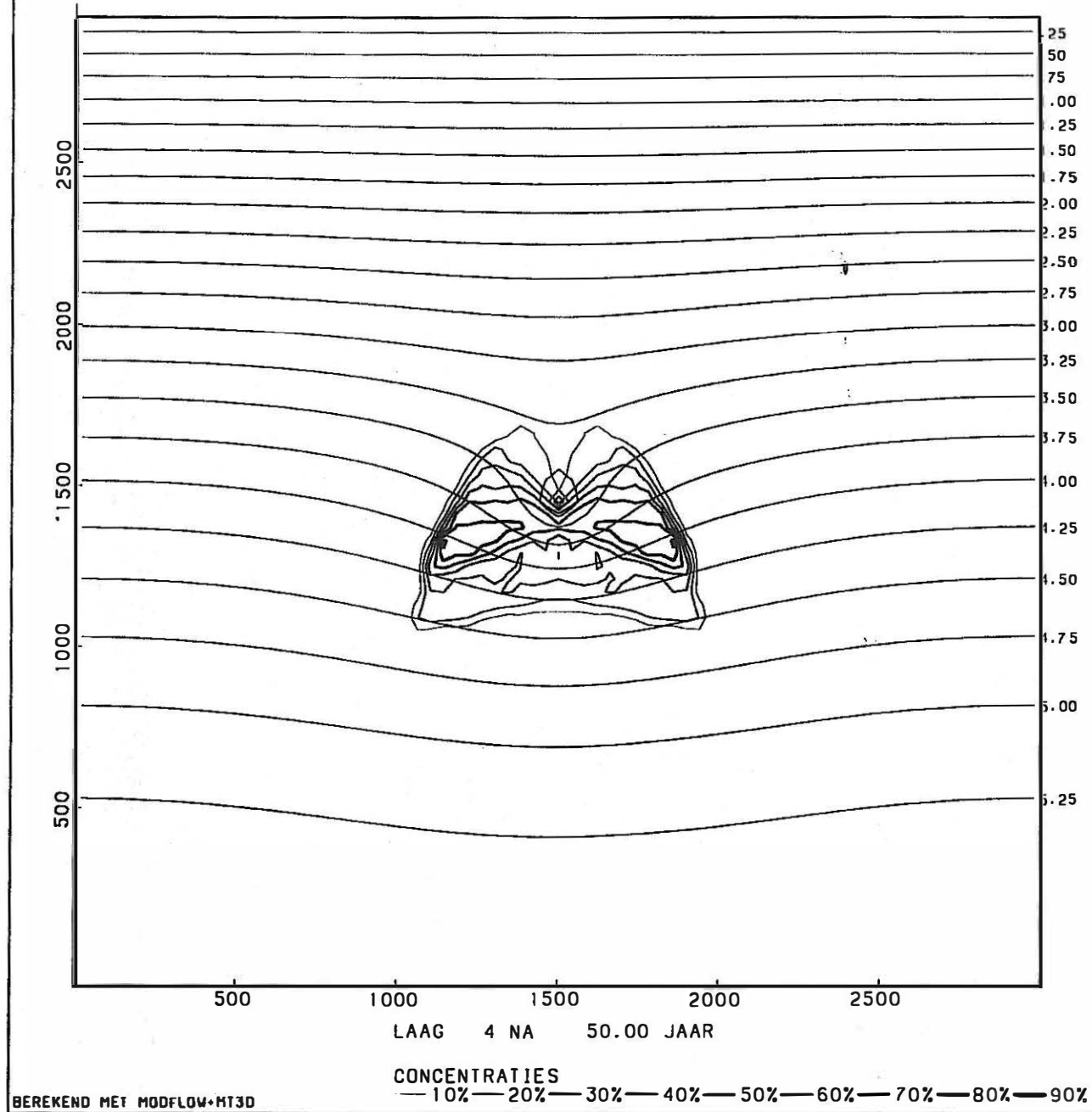


Fig. 46 - MT3D : Toestand met pumping : berekende concentraties
in laag 5 na 50 jaar

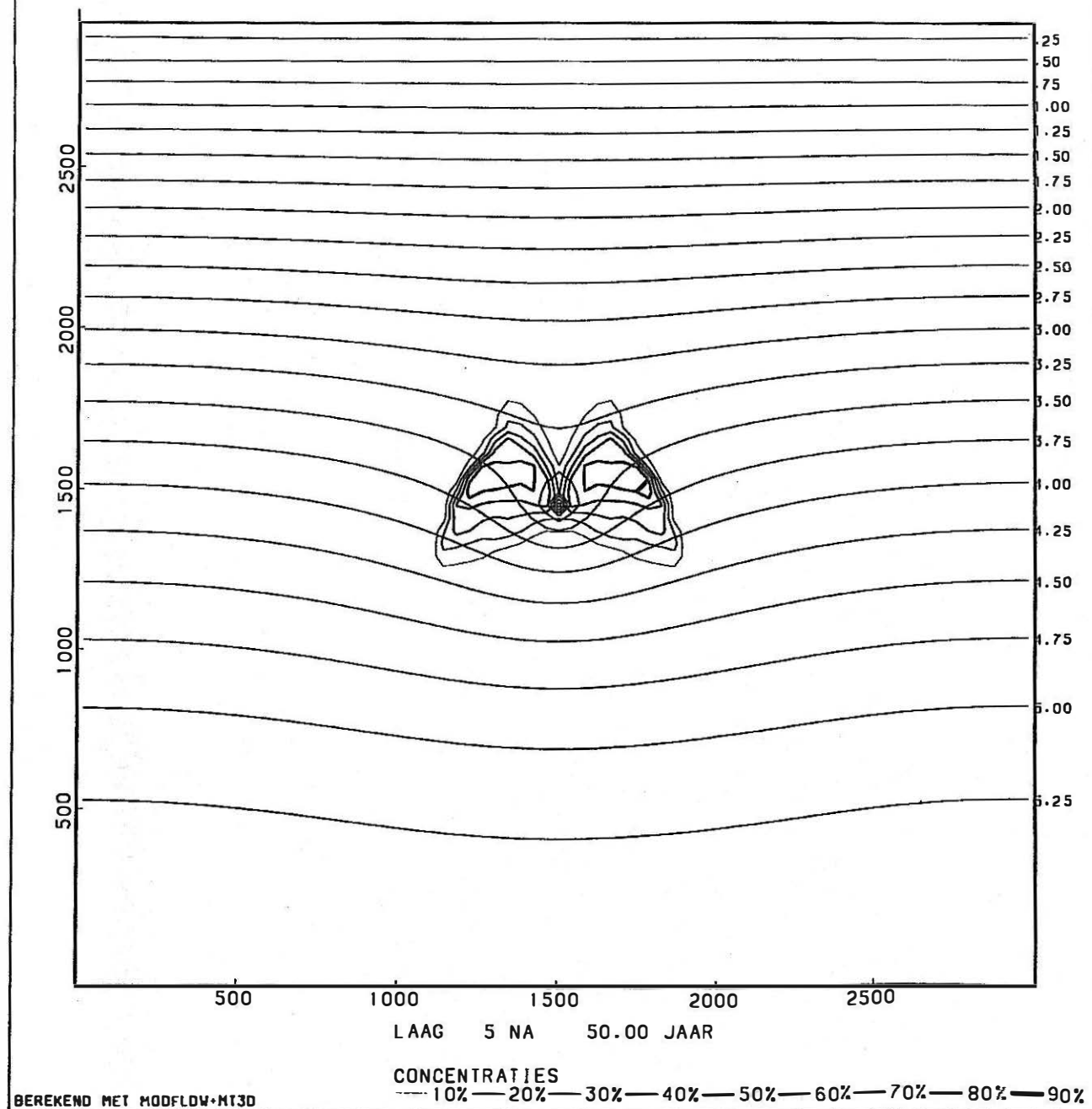
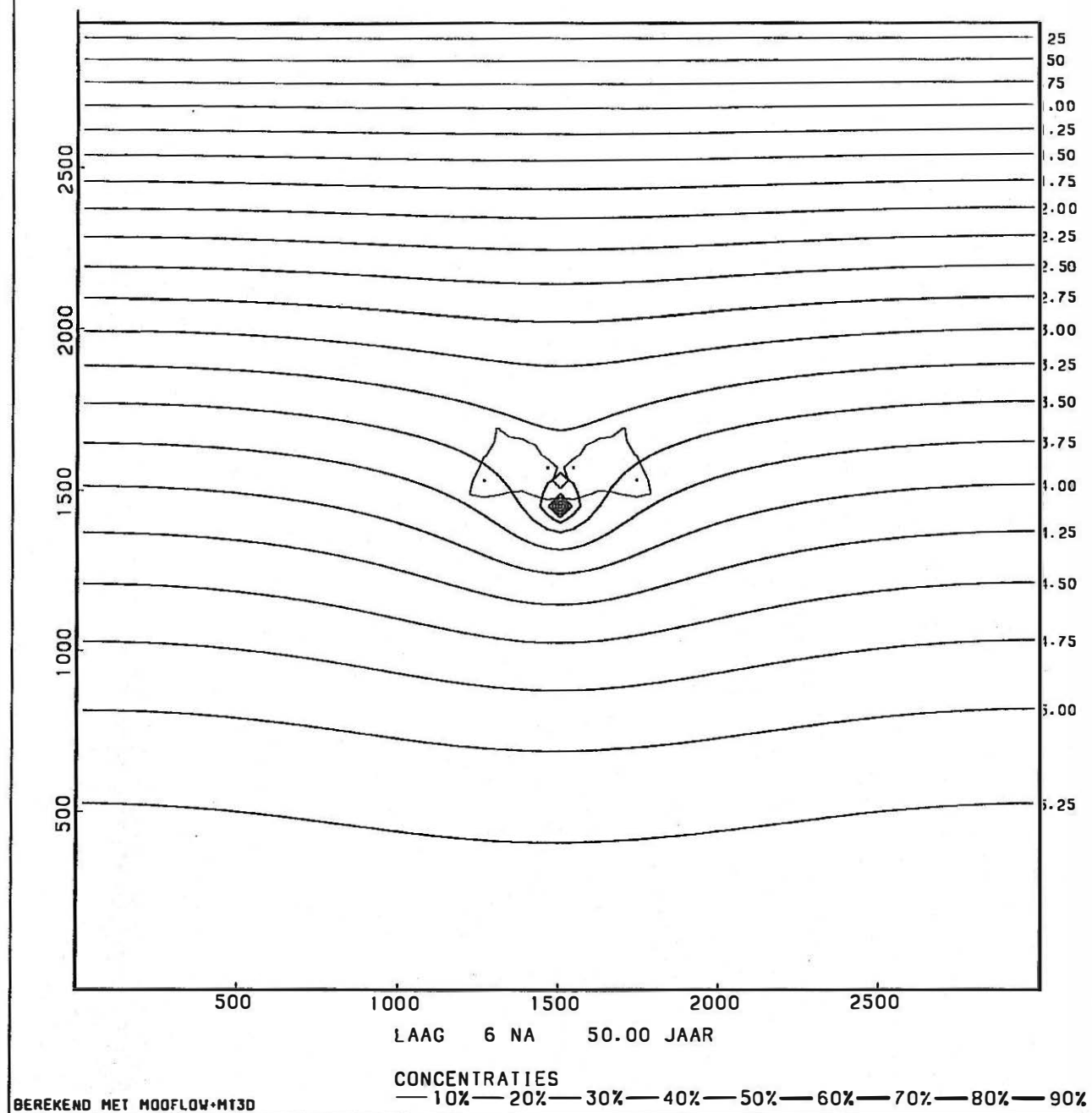


Fig. 47 - MT3D : Toestand met pompig : berekende concentraties
in laag 6 na 50 jaar



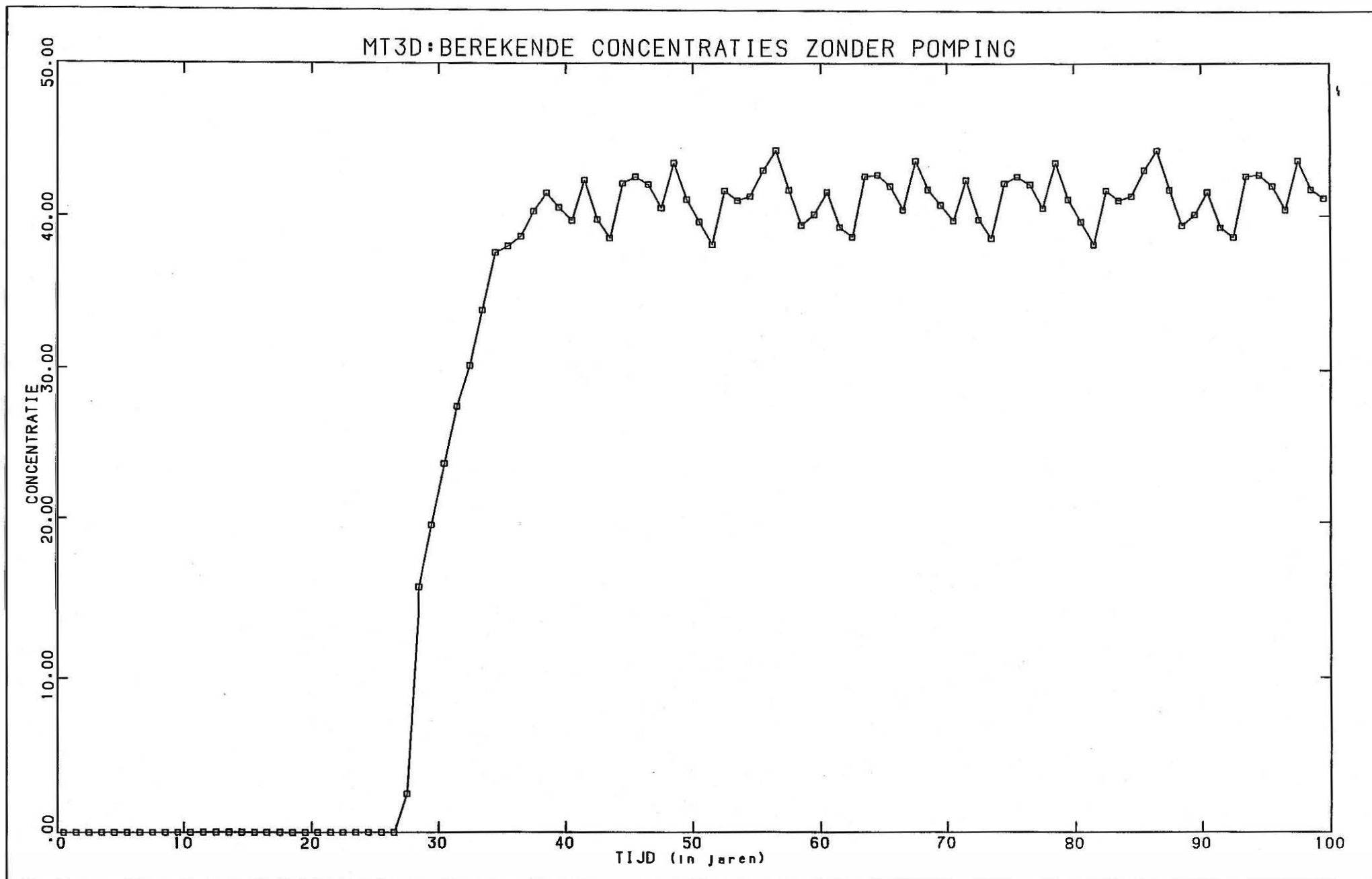


Fig. 48 - MT3D : Toestand zonder pumping : berekende concentraties in de pompput

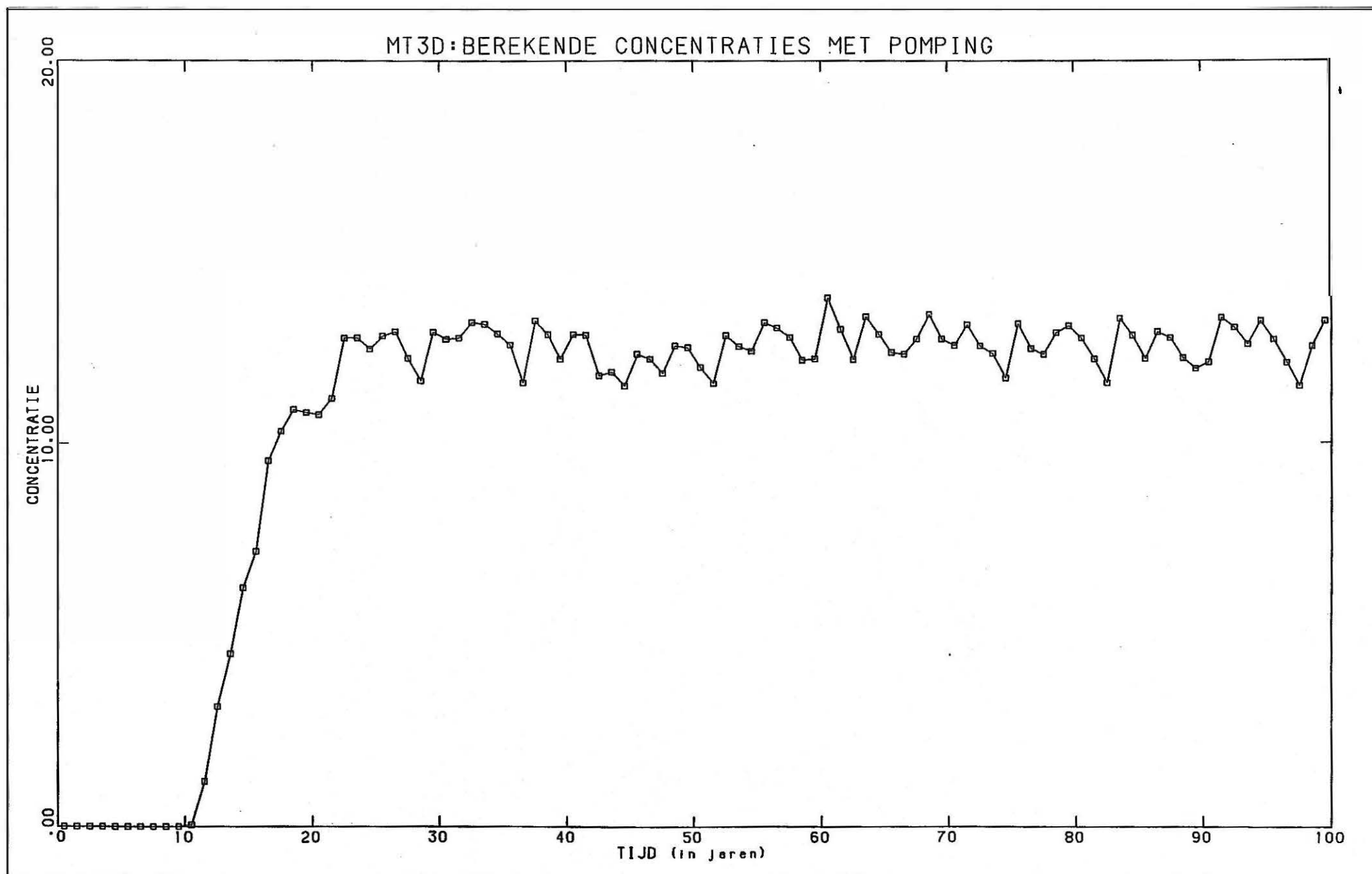


Fig. 49 - MT3D : Toestand met pumping : berekende concentraties in de pomput

5. EVALUATIE VAN DE ONTVANGEN AANVRAGEN

Het evalueren van ontvangen aanvragen behelst:

1. Bepalen of het voorgestelde programmapakket voldoende mogelijkheden heeft om een bepaald hydrogeologisch vraagstuk op te lossen.
2. De resultaten van de concrete opdracht vergelijken met die van de referentiemodellen die in deze studie zijn opgenomen.

Hoewel eenvoudige situaties met eenvoudige modellen op te lossen zijn kunnen volgende vereisten gesteld worden voor toepassing in de meeste gevallen:

- de aanvrager moet in staat zijn het stromingspatroon in het studiegebied te berekenen , liefst in verschillende watervoerende lagen.
- de aanvrager moet in staat zijn na te gaan of een pollutant een bepaalde plaats (b.v. een pumping of een waarnemingsput) zal bereiken en na hoeveel tijd dit zal gebeuren.

Uit de voorgaande besprekingen van de resultaten is af te leiden dat niet alle modellen dezelfde antwoorden op de vragen geven. Meer bepaald de vraag na hoeveel tijd de waarnemingsput resp. pompput wordt bereikt ingeval niet of wel gepompt wordt , verschilt naargelang het gebruikte model en de gevolgde benadering. Als conclusie kan men stellen dat bij het beoordelen van resultaten ruime marges moeten gehanteerd worden. Een overzicht van de aankomsttijden staan in tabel 1. Daarom zijn alle antwoorden die binnen de grenzen van onderstaande waarden vallen , aanvaardbaar.

Voor een betrouwbare evaluatie van de antwoorden is het aangewezen de beoordeling door verschillende , onafhankelijke evaluatoren te laten uitvoeren (min 2) , die een praktische ervaring met grondwatermodellering hebben. De evaluaties kunnen dan vergeleken worden en in overeenstemming worden gebracht tot een finale eindbeoordeling.

tabel 1 Reistijden voor de verschillende simulaties

MODEL	zonder pumping	met pumping
MODPATH	ca 40 jaar	ca 20 jaar
MOC-horizontaal	ca 30 jaar	ca 20 jaar
MOC-vertikaal	ca 30 jaar	ca 25 jaar
MT3D	ca 28 jaar	ca 10 jaar

BIJLAGE 1

FORMULIER GRONDWATERMODELLEN

De hiernavolgende vragenlijst moet zo volledig mogelijk ingevuld worden. Er komen twee verschillende soorten vragen in de lijst voor:

1. Vragen waarop moet geantwoord worden door de betreffende keuze of optie aan te duiden. Het is evenwel mogelijk dat er per vraag meerdere antwoorden kunnen worden geselecteerd. Een antwoord wordt geselecteerd door het bolletje ervoor aan te kruisen.

2. Vragen waarop met een omschrijving moet worden geantwoord.

De vragenlijst werd ingedeeld in verschillende blokken. Deel 1 bevat vragen betreffende de algemene gegevens van het voorgestelde programmapakket. De volgende delen moeten selectief ingevuld worden naargelang de antwoorden van deel 1.

Indien in een bepaalde categorie meerdere programma's worden gebruikt, moet voor elk programma het betreffende deel van de vragenlijst worden beantwoord.

De modellen werden in een aantal ~~k~~ategoriën ingedeeld op basis van hun functionaliteit. Hieronder volgt een zeer korte definitie van de verschillende kategoriën.

Stromingsmodellen zijn programma's die de stijghoogteverdeling in een grondwaterreservoir kunnen berekenen.

Transportmodellen zijn programma's die de verspreiding van opgeloste stoffen in een grondwaterreservoir kunnen berekenen.

Stroomlijnprogramma's zijn programma's die de stroomlijnen, die waterdeeltjes in een grondwaterreservoir volgen, kunnen berekenen.

Hydrochemische modellen zijn programma's die chemische interacties tussen verschillende constituenten in het grondwater kunnen berekenen.

DEEL 1 ALGEMENE GEGEVENS

Versie 1.01 - 01/05/1996

1.1 Kontaktpersoon:

Naam:.....

Organisatie:.....

Adres:.....

1.2 Het gebruikte programmapakket bevat (aanduiden wat van toepassing is):

1.2.1 o Stromingsmodel (vul hierna deel 2 in)

aantal:.....

1.2.2 o Programma om stroomlijnen te berekenen (vul hierna deel 3 in)

aantal:.....

1.2.3 o Transportsmodel (vul hierna deel 4 in)

aantal:.....

1.2.4 o Hydrochemisch model (vul hierna deel 5 in)

aantal:.....

1.2.5 o Grafisch uitvoerprogramma (vul hierna deel 6 in)

aantal:.....

1.2.6 o Invoerprogramma

Welk(e)?.....

1.2.7 o Koppeling van/naar CAD-systeem

Welk CAD-systeem?.....

1.2.8 o Koppeling van/naar GIS-systeem

Welk GIS-systeem?.....

1.3 Hoeveel studies hebt U met dit programmapakket reeds uitgevoerd?

.....

1.4 Hoeveel jaar ervaring heeft U met dit programmapakket?

.....

DEEL 2 STROMINGSMODEL

2.1 Naam van het model:

.....

2.2 Versie en/of auteur:

.....

2.3 Is het programma zelf ontwikkeld? ☐ JA ☐ NEEN

2.4 Computerplatform en besturingssysteem:

.....

2.5 Bronkode beschikbaar: ☐ JA ☐ NEEN

Programmeertaal?.....

2.6 Is het programma vergezeld van een handleiding? ☐ JA ☐ NEEN

2.7 Is het model geverifieerd ?

☐ Tegen analytische oplossingen

☐ Tegen andere modellen

Welke?.....

☐ Andere vorm van verificatie

Welke?.....

2.8 Het model is:

☐ analytisch

☐ numeriek

2.9 Het model is

☐ normaal

☐ invers

2.10 Het model simuleert:

☐ onverzadigde zone

☐ verzadigde zone

2.11 Welke methode gebruikt het model:

☐ eindige verschil methode

☐ eindige elementen methode

☐

andere:.....

2.12 Het model is:

- ☐ 1 dimensionaal
- ☐ 2 dimensionaal
- ☐ 2 ½ dimensionaal
- ☐ 3 dimensionaal

2.13 Het model berekent:

- ☐ permanente stroming (steady state)
- ☐ tijdsafhankelijke stroming (transient flow)

2.14 Wat zijn de maximale dimensies van de door U gebruikte versie:

- ☐ max aantal lagen:.....
- ☐ max totaal aantal cellen of elementen:.....
- ☐ afhankelijk van beschikbaar RAM-geheugen in de computer

2.15 Kunnen de afmetingen/vorm van de cellen/elementen zelf gekozen worden?

- ☐ Ja
- ☐ Neen

2.16 Zijn de ingevoerde parameters:

- ☐ Homogeen
- ☐ Heterogeen

2.17 Zijn de ingevoerde doorlatendheden:

- ☐ Isotroop
- ☐ Anisotroop

2.18 Welke randvoorwaarden kunnen ingevoerd worden:

- ☐ ondoorlatende grenzen
- ☐ vaste stijghoogtegrenzen
- ☐ vast flux grenzen
- ☐ vast stijghoogtecellen

2.19 Hoeveel pompings/injecties kunnen ingevoerd worden?

- ☐ 1
- ☐ meer dan 1

2.20 Hoe wordt de nuttige neerslag in het model opgenomen?

- ☐ Vaste waarde voor het hele model
- ☐ Variabele waarde (varieert per cel/element)

☐ De evapo-transpiratie kan berekend worden

2.21 Hoe is de interactie grondwater - oppervlaktewater?

☐ Geen

☐ stroming van grondwater naar oppervlaktewater mogelijk

☐ stroming van oppervlaktewater naar grondwater mogelijk

☐ hydraulische weerstand of kontaktfactor tussen grondwater en oppervlaktewater

☐ er wordt rekening gehouden met de afvoerdebieten van de waterlopen

2.22 Ingeval het een invers model is , welke parameters kunnen bepaald worden?

☐ horizonatle doorlatendheden / transmissiviteiten

☐ verticale doorlatendheden

☐ bergingscoëfficiënten

☐ nuttige neerslag

☐ andere:.....

2.23 Met welke numerieke oplossingsmethode(n) worden de stromingsvergelijkingen in het model opgelost?

.....

DEEL 3 STROOMLIJNENPROGRAMMA

3.1 Naam:

.....

3.2 Versie en/of auteur:

.....

3.3 Is het programma zelf ontwikkeld? ☐ JA ☐ NEEN

3.4 Computerplatform en besturingssysteem:

.....

3.5 Bronkode beschikbaar: ☐ JA ☐ NEEN

Programmeertaal?.....

3.6 Is het programma vergezeld van een handleiding? ☐ JA ☐ NEEN

3.7 Is het programma gekoppeld aan een extern stromingsmodel ☐ JA ☐ NEEN

Welk?.....

3.8 Het programma kan stroomlijnen berekenen

☐ in de richting van de stroming

☐ tegen de stroomrichting in

3.9 Kunnen er gebieden gekozen worden waar stroomlijnen vertrekken: ☐ JA ☐ NEEN

3.10 Kunnen er gebieden gekozen worden waar stroomlijnen aankomen: ☐ JA ☐ NEEN

3.11 Kan het programma reistijden berekenen? ☐ JA ☐ NEEN

3.12 Het programma omvat een tekenprogramma om de stroomlijnen te tekenen:

☐ JA ☐ NEEN

Welk?.....

Het tekenprogramma kan:

☐ stroomlijnen in bovenaanzicht tekenen

☐ stroomlijnen in zij aanzicht tekenen

☐ stroomlijnen in perspectiefzicht tekenen

☐ op de stroomlijnen tijdsmarkeringen aanbrengen

☐ isochronen tekenen

DEEL 4 TRANSPORT MODEL

4.1 Naam van het model:

.....

4.2 Versie en/of auteur:

.....

4.3 Is het programma zelf ontwikkeld? ☐ JA ☐ NEEN

4.4 Computerplatform en besturingssysteem:

.....

4.5 Bronkode beschikbaar: ☐ JA ☐ NEEN

Programmeertaal?.....

4.6 Is het programma vergezeld van een handleiding? ☐ JA ☐ NEEN

4.7 Is het model geverifieerd ?

☐ Tegen analytische oplossingen

☐ Tegen andere modellen

Welke?.....

☐ Andere vorm van verifikatie

Welke?.....

4.8 Het model is:

☐ 1 dimensionaal

☐ 2 dimensionaal

☐ 3 dimensionaal

4.9 Het model kan rekenen met:

☐ 1 fase

☐ meer dan 1 fase: welke?.....

4.10 Het model kan rekenen met:

☐ 1 opgeloste stof

☐ 2 opgeloste stoffen

☐ meer dan 2 opgeloste stoffen

4.11 Het model kan rekening houden met volgende processen:

☐ konvektie

☐ dispersie

- o diffusie
- o degradatie , verval
- o adsorptie

Welke types:.....

- o ionenwisselingen

Welke types:.....

- o dichtheitsstromingen
- o complexvorming
- o redoxreacties
- o volatilisatie

4.12 Gebruikte numerieke methode voor het vaste stoffen transport:

.....

DEEL 5 HYDROCHEMISCH MODEL

5.1 Naam:

.....

5.2 Versie en/of auteur:

.....

5.3 Is het programma zelf ontwikkeld? ☐ JA ☐ NEEN

5.4 Computerplatform en besturingssysteem:

.....

5.5 Bronkode beschikbaar: ☐ JA ☐ NEEN

Programmeertaal?.....

5.6 Is het model geverifieerd ?

☐ Tegen analytische oplossingen

☐ Tegen andere modellen

Welke?.....

☐ Andere vorm van verifikatie

Welke?.....

5.7 Het model is:

☐ 1 dimensionaal

☐ 2 dimensionaal

☐ 3 dimensionaal

5.8 Type van gemodelleerde processen:

☐ evenwichtsreacties

☐ kinetische reacties

Met welke specifieke stoffen en processen kan het programma rekening houden?

5.9 Kationen en anionen

5.9.1 ☐ adsorptie en desorptie

5.9.2 ☐ zuur-base reacties

5.9.3 ☐ neerslagvorming en oplossing

5.9.4 ☐ complexatie

5.9.5 ☐ redoxreacties

5.9.6 ☐ andere:

.....

5.10 N-verbindingen

- 5.10.1 o adsorptie en desorptie
 - 5.10.2 o zuur-base reacties
 - 5.10.3 o complexvorming
 - 5.10.4 o redoxreacties
 - 5.10.5 o nitrificatie
 - 5.10.6 o denitrifikatie
 - 5.10.7 o andere:
-

5.11 P-verbindingen

- 5.11.1 o adsorptie en desorptie
 - 5.11.2 o zuur-base reacties
 - 5.11.3 o neerslagvorming en oplossing
 - 5.11.4 o complexvorming
 - 5.11.5 o redoxreacties
 - 5.11.6 o andere:
-

5.12 Organische stoffen

- 5.12.1 o adsorptie en desorptie
 - 5.12.2 o zuur-base reacties
 - 5.12.3 o complexvorming
 - 5.12.4 o redox reacties
 - 5.12.5 o biodegradatie
 - 5.12.6 o andere:
-

5.13 Sporenelementen

- 5.13.1 o adsorptie en desorptie
- 5.13.2 o complexvorming
- 5.13.3 o zuur-base reacties
- 5.13.4 o neerslagvorming en oplossing
- 5.13.5 redoxreacties
- 5.13.6 andere:

.....

5.14 Pesticiden

5.14.1 o adsorptie en desorptie

5.14.2 o biodegradatie

5.14.3 o andere:

.....

5.15 Olieachtige produkten

5.15.1 o adsorptie en desorptie

5.15.2 o biodegradatie

5.15.3 o andere:

.....

5.16 Radioactieve stoffen

5.16.1 o radioactief verval

5.16.2 o adsorptie en desorptie

5.16.3 o complexvorming

5.16.4 o neerslagvorming

5.16.5 o redoxreacties

5.16.6 o andere:

.....

5.17 Andere:

.....

DEEL 6 GRAFISCH UITVOERPROGRAMMA

6.1 Naam:

.....

6.2 Versie en/of auteur:

.....

6.3 Is het programma zelf ontwikkeld? ☐ JA ☐ NEEN

6.4 Computerplatform en besturingssysteem:

.....

6.5 Bronkode beschikbaar: ☐ JA ☐ NEEN

Programmeertaal:.....

6.6 Is het programma vergezeld van een handleiding? ☐ JA ☐ NEEN

6.7 De uitvoer gebeurt op:

☐ printer

☐ plotter

☐ andere:.....

6.7 Voorstellen van de ingevoerde gegevens

Het programma kan:

☐ het gebruikte netwerk voorstellen

☐ de top en basis van de verschillende lagen voorstellen

☐ de dikte van de verschillende lagen voorstellen

☐ de dikte(n) van de verschillende lagen voorstellen

☐ de ingevoerde doorlatenheden/transmissiviteiten voorstellen

☐ ingevoerde pompingen/injektieputten voorstellen

☐ de ingevoerde precipitatie

☐ de randvoorwaarden aanduiden

☐ vaste stijghoogtecellen aanduiden 17 juni 1995

6.8 Het programma kan horizontale lagen tekenen met aanduiding van:

☐ gekozen schalen

☐ lijnen van gelijke stijghoogten

☐ lijnen van gelijke stijghoogteverschillen

☐ stromingsvektoren

- o isolijnen van concentraties
- o stroomlijnen
- o netwerk

6.9 Het programma kan verticale doorsneden tekenen met aanduiding van:

- o gekozen schalen
- o lijnen van gelijke stijghoogten
- o lijnen van gelijke stijghoogteverschillen
- o stromingsvektoren
- o isolijnen van concentraties
- o stroomlijnen
- o netwerk
- o laagopbouw

6.10 Het programma kan tijdsafhankelijke grafieken tekenen:

- o tijd-stijghoogte
- o tijd-concentratie

6.11 Het programma kan drie-dimensionale voorstellingen maken:

- o perspectiefzichten van vlakken
- o gelijkwaardeoppervlakken ("isosurface") van berekende concentraties.

BIJLAGE 2

DE CONCRETE OPDRACHT

1. Omschrijving van de opdracht

Het te simuleren gebied is een vierkantig gebied van 3 op 3 km. Volgens een lokaal coördinatensysteem krijgt de westgrens coördinaat $X=0$ en de oostgrens $X=3000$, de noordgrens heeft als coördinaat $Y=3000$ en de zuidgrens $Y=0$. De west-, zuid- en oostgrens zijn ondoorlatend. De noordgrens heeft een vaste stijghoogte op peil 0.00 over de ganse dikte van het reservoir. De basis van het reservoir bevindt zich op peil -50. Het reservoir heeft een horizontale doorlatendheid van 10 m/d en een verhouding van verticale op horizontale doorlatendheid van 0.20. De waterdoorlatende porositeit bedraagt 0.38. De nuttige neerslag (precipitatie) op het gebied bedraagt 270 mm per jaar. Er is een stortplaats aanwezig begrensd door de coördinaten $X = 1000$ en $X = 2000$ en $Y = 800$ en $Y = 1000$. Het door de stortplaats perkolerend water heeft een concentratie van 100 eenheden. Op coördinaat $X=1500$ m en $Y=1500$ is een pumping van $1000 \text{ m}^3/\text{dag}$ aanwezig. De filter van de pompput bevindt zich tussen -20 en -30. Bij berekeningen moet enkel konvektief transport beschouwd worden, en moet met dispersie, verval, adsorptie, desorptie of andere processen geen rekening worden gehouden. Er wordt aangenomen dat de concentratie van de opgeloste stof de dichtheid van het grondwater niet beïnvloed.

2. Vragenlijst

Vraag 1

Geef de stijghoogten in het reservoir. Indien er belangrijke stijghoogteverschillen optreden tussen de basis en de top van het reservoir; geef dan de stijghoogten nabij de watertafel en nabij de basis van het reservoir.

Vraag 2

Geef de stijghoogten in het reservoir indien gepompt wordt op lokatie $X=1500$ en $Y=1500$ met een debiet van $1000 \text{ m}^3/\text{dag}$.

Vraag 3

Geef de verlaging van de stijghoogten ten gevolge van de pumping. Indien de verlagingen onderaan en bovenaan in het reservoir verschillen , geef dan de verlaging van de watertafel en nabij de basis van het reservoir.

Vraag 4

Geef een aantal stroomlijnen die in het stort vertrekken ingeval niet gepompt wordt. Na hoeveel tijd bereikt water dat doorheen het stort geïnfiltreerd is de noordgrens van het gebied?

Vraag 5

Geef een aantal stroomlijnen die in het stort vertrekken ingeval wel gepompt wordt. Na hoeveel tijd bereikt water dat doorheen het stort geïnfiltreerd is de pompput?

Vraag 6

Geef de te verwachten verspreiding van de verontreiniging na 50 jaar ingeval niet gepompt wordt.

Vraag 7

Geef de te verwachten verspreiding van de verontreiniging na 50 jaar ingeval wel gepompt wordt.

Vraag 8

Geef de te verwachten evolutie van de kwaliteit in de pompput indien niet gepompt wordt. De pompput doet dan dienst als waarnemingsput.

Vraag 9

Geef de te verwachten evolutie van de kwaliteit van het opgepompte water indien gepompt wordt.

3. Voorstellen van de resultaten

Berekende stijghoogten moeten voorgesteld worden onder de vorm van kaarten met lijnen van

gelijke stijghoogten. Deze kaarten worden getekend op schaal 1/20000 (past op A4 formaat). Het niveau van de lijnen moet aangeduid zijn. Het interval bedraagt 0.10 m. Op de kaarten moet de begrenzing van de 3 km op 3 km zone aangegeven worden.

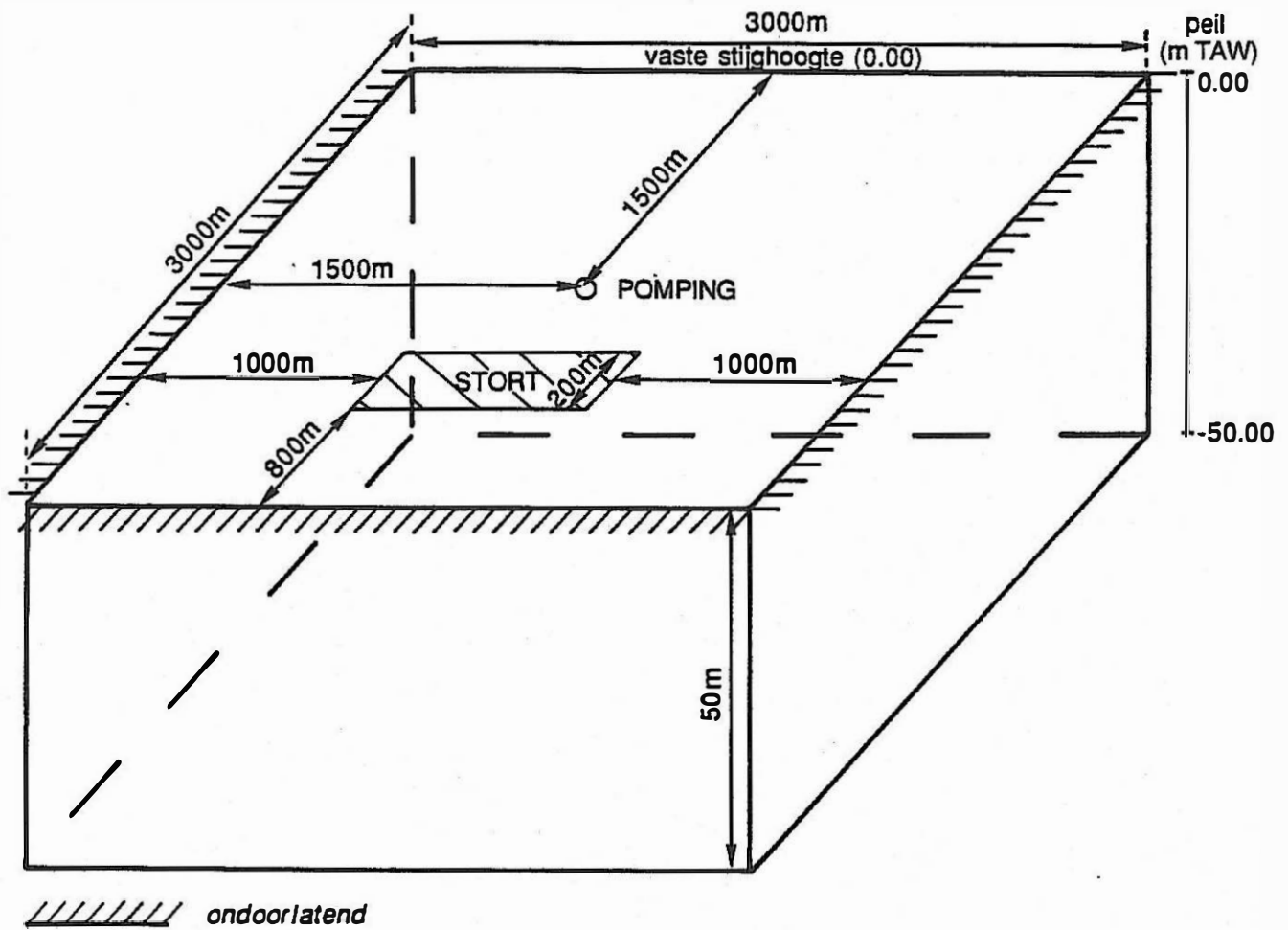
Berekende stroomlijnen kunnen in volgende vormen gegeven worden:

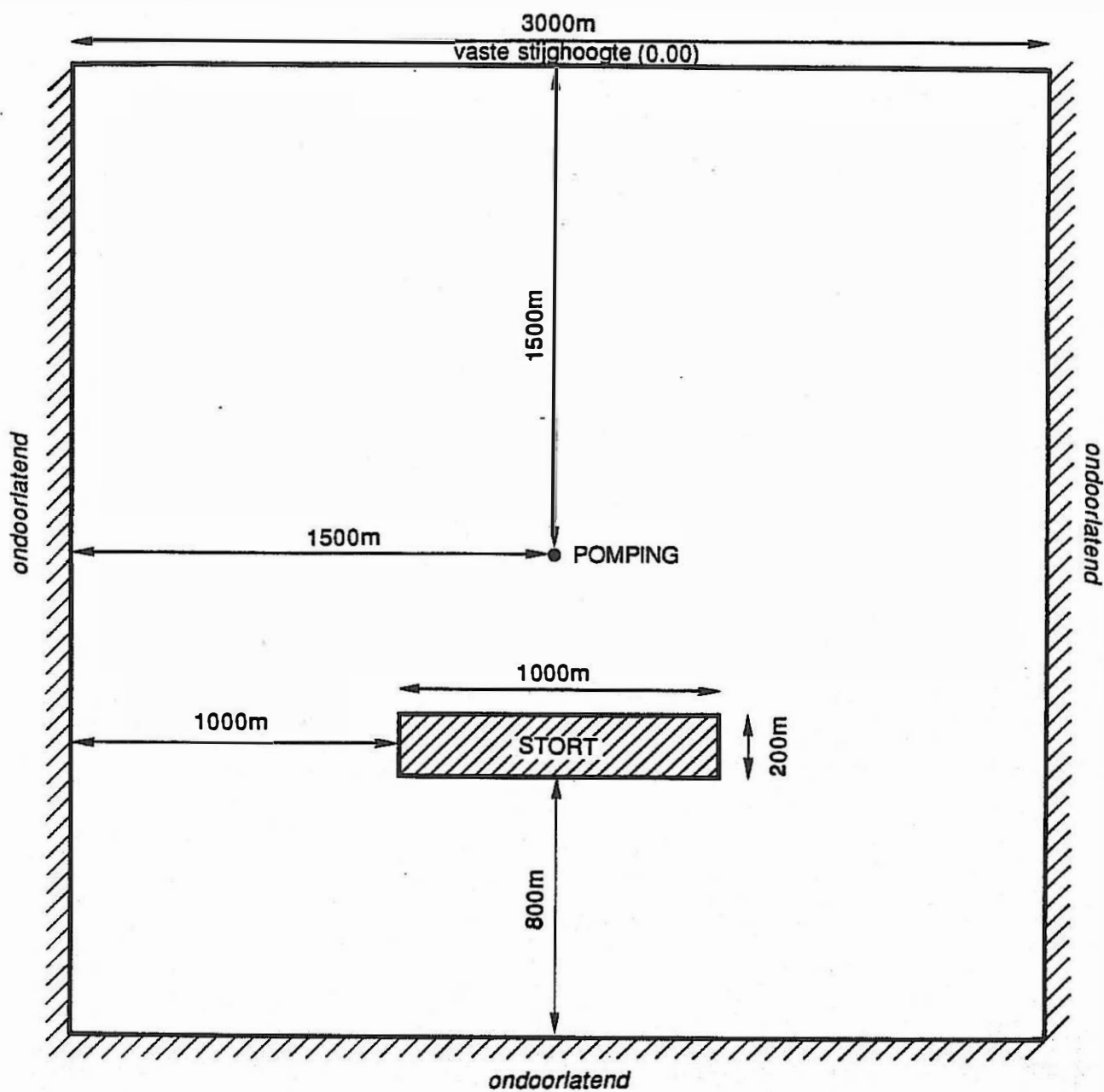
- in bovenaanzicht op schaal 1/20000. Hierbij moet de begrenzing van de 3 km op 3 km zone op de figuur zijn aangegeven
- in zijaanzicht met als horizontale schaal 1/20000. Hierbij moeten de verticale schaal, de basis van het reservoir en de west- en oostgrens of noord- en zuidgrens worden aangeduid.

Berekende concentraties moeten voorgesteld worden met lijnen van gelijke concentratie. Het interval van de lijnen bedraagt 10 eenheden. Er mogen twee voorstellingswijzen gebruikt worden:

- ofwel in bovenaanzicht op schaal 1/20000. De kaarten geven dan de laterale verspreiding van de verontreiniging weer. In dit geval moet het peil of peilinterval waarvoor de berekende concentraties geldig zijn, aangegeven worden
- ofwel in de vorm van profielen. De horizontale schaal bedraagt 1/20000. De verticale schaal moet worden aangeduid.

De evoluties van de berekende concentraties moet voorgesteld worden in grafieken die de berekende concentratie op de Y-as uitzetten in functie van de tijd op de X-as. Hierbij moet een verdeling van beide assen voorzien zijn, zodat een gemakkelijke aflezing mogelijk is. De schalen van de assen moeten zodanig gekozen worden dat een duidelijke aflezing van de concentratie mogelijk is.





schaal: 1/20 000